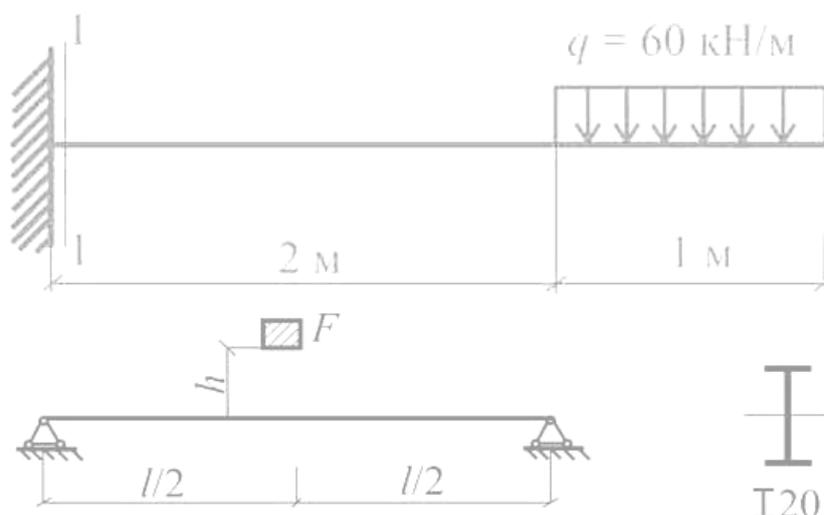


Г. И. Беликов

**ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА.
СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.
Обучающие модули**

Учебное пособие



Волгоград. ВолгГАСУ. 2014



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2014

УДК 531+539.31.6](075.8)
ББК 30.12я73
Б432

Р е ц е н з е т ы:

доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета *Н. Г. Бандурин*;
доктор технических наук, профессор кафедры лесного и водного хозяйства Волгоградского государственного аграрного университета *А. П. Николаев*

*Утверждено редакционно-издательским советом университет
в качестве учебного пособия*

Беликов, Г. И.

Б432 Техническая механика. Сопротивление материалов. Обучающие модули [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. И. Беликов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (0,7 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-98276-665-6

Темы курсов «Техническая механика» и «Сопротивление материалов» представлены в виде обучающих модулей. В каждом обучающем модуле приведены наименование, содержание разделов дисциплины и контрольные задания для самопроверки, содержащие, как правило, пять вопросов и задачи. Оценка знаний студентов проводится по отдельному модулю, группе модулей и курсам в целом.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалавриата по направлению 270800 «Строительство».

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader.

Имеется печатный аналог (Беликов, Г. И. Техническая механика. Сопротивление материалов. Обучающие модули: учебное пособие / Г. И. Беликов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — 24, [2] с.)

**УДК 531+539.31.6](075.8)
ББК 30.12я73**

ISBN 978-5-98276-665-6



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2014

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИН.....	5
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	6
3. ОБУЧАЮЩИЕ МОДУЛИ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.....	7
Модуль 1. Основные понятия.....	7
Модуль 2. Геометрические характеристики поперечных сечений стержней.....	8
Модуль 3. Центральное (осевое) растяжение и сжатие стержней.....	9
Модуль 4. Двухосное напряженное состояние.....	11
Модуль 5. Основы теорий прочности.....	12
Модуль 6. Сдвиг. Расчет соединений, работающих на сдвиг.....	14
Модуль 7. Кручение стержня круглого сечения.....	15
Модуль 8. Прямой плоский изгиб.....	16
Модуль 9. Перемещения при прямом плоском изгибе.....	18
Модуль 10. Статически неопределимые системы.....	19
Модуль 11. Сложное сопротивление.....	20
Модуль 12. Устойчивость сжатых стержней.....	22
Модуль 13. Динамические и повторно переменные нагрузки.....	23
4. ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ.....	25
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	25

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Техническая механика», в котором рассматриваются основы сопротивления материалов и строительной механики, имеет целью подготовить будущего специалиста к решению простейших задач по расчету стержней и стержневых систем.

Приведенные обучающие модули и контрольные задания дают студенту возможность самостоятельно заниматься в течение года по учебникам и задачникам.

Модульная система позволит будущим специалистам приобрести начальные знания о напряженно-деформированном состоянии деформируемых твердых тел под действием различных нагрузок, а также иметь представления о расчете элементов строительных конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

Контроль качества изучения дисциплины студент может проводить самостоятельно путем ответа на вопросы и решения задач контрольных заданий по обучающим модулям.

Цель пособия — стать опорным, вспомогательным материалом для получения основ знаний по курсу, помочь успешно выполнить расчетно-графические (контрольные) работы и подготовиться к сдаче зачета или экзамена.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИН

Техническая механика, в которой изучаются основы сопротивления материалов и строительной механики, является одной из сложных дисциплин, изучаемых в вузе.

Для успешного выполнения расчетов на прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций того или иного типа студенты должны усвоить основы прочностных расчетов, работая с учебниками, учебными пособиями и сборниками задач.

Программой курса предусматривается чтение лекций, проведение практических и лабораторных занятий, а также самостоятельная работа студентов над программным материалом (теоретические основы, домашние задачи, расчетно-графические работы или контрольные работы, итоговые индивидуальные задания).

Объем лекций, практических занятий, лабораторного практикума, расчетно-графических работ для студентов очной формы обучения или контрольных работ для студентов заочной формы определяется программой дисциплины по соответствующим направлениям обучения.

Использование данного пособия предполагает предварительное изучение теоретического материала по учебникам. Не следует приступать к выполнению работ, не изучив соответствующего раздела курса и не решив самостоятельно задачи.

Студенту рекомендуется:

1. Изучить тему раздела дисциплины, используя учебный материал совместно с конспектами лекций и практических занятий.

2. Наиболее трудные для понимания вопросы необходимо дополнительно изучить.

3. После изучения каждой темы раздела надо обязательно ответить на вопросы и решить задачи для самопроверки. Это способствует лучшему усвоению материала.

4. Сформулировать вопросы преподавателю и задать их на консультации.

5. Выполнить расчетно-графическую работу и оформить ее в виде пояснительной записки с титульным листом, студентам заочной формы обучения выполнить контрольную работу.

6. Подготовить учебный материал для защиты лабораторных и расчетно-графических или контрольных работ.

Для сдачи зачета студентам очной формы обучения необходимо выполнить и защитить расчетно-графические работы, а студентам заочной формы — контрольные работы и пройти лабораторный практикум.

К сдаче экзамена студент допускается по результатам отчета по расчетно-графическим работам (контрольным работам) и лабораторным работам.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В курсе «Техническая механика» рассматриваются основы расчета стержней (сопротивление материалов) и стержневых систем (строительная механика стержневых систем). В курсе «Сопротивление материалов» рассматриваются одномерные тела, один размер которых (длина) намного меньше двух других. Такие тела (элементы конструкций) называют стержнями или брусками. В строительной механике стержневых систем рассматриваются конструкции, состоящие из стержней.

К конструкции предъявляются требования прочности, жесткости и устойчивости для обеспечения функциональности в течение ее срока эксплуатации и минимизирования затрат.

Прочность — это способность конструкции не разрушаться под действием внешних нагрузок. Причинами разрушения конструкций являются ошибки при проектировании и строительстве, превышение нагрузок, предусмотренных при расчете, некачественное изготовление конструкций.

Жесткость — это способность конструкции сопротивляться деформированию, сохранять размеры и форму в заданных пределах. Размер и свойства материала конструкции влияют на ее жесткость.

Устойчивость — это способность конструкции сохранять первоначальную форму равновесия. Потеря устойчивости сжатого стержня может привести к разрушению конструкции.

При построении теории расчета невозможно отразить все многообразие свойств реальных конструкций. Реальные конструкции заменяют более простыми, которые называют расчетными схемами, вводя упрощения относительно формы и размеров стержней, видов и способа приложения нагрузок, способа закрепления стержней, материала стержней, дополнительные принципы и гипотезы.

Расчет на прочность элементов, подверженных центральному растяжению и сжатию, в строительной практике осуществляют по методу предельных состояний.

3. ОБУЧАЮЩИЕ МОДУЛИ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Модуль 1 Основные понятия

Содержание модуля

Расчетные схемы. Основные принципы и допущения. Напряжения и деформации. Внутренние усилия в стержнях. Виды нагружения стержней

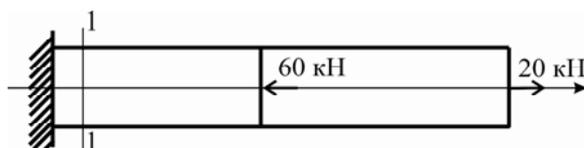
Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Что называется расчетной схемой?
2. Какое из допущений о материале в сопротивлении материалов является основным?
3. Какие тела называются бруском (стержнем)?
4. Какие нагрузки являются внешними, объемными?
5. Какой метод используется для определения внутренних усилий в стержнях? В чем состоит его суть?

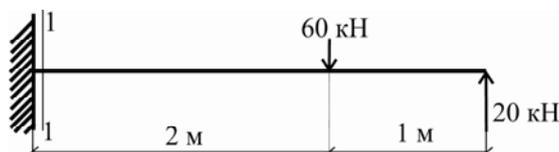
Задачи для самопроверки

1. Стержень нагружен двумя силами. Определите продольную силу N в поперечном сечении 1—1.



О т в е т: $N = -40$ кН.

2. Консоль нагружена двумя сосредоточенными силами. Определите изгибающий момент M в сечении 1—1.



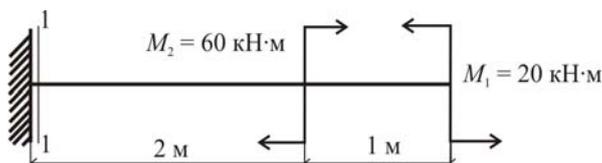
О т в е т: $M = -60$ кН·м.

3. Консоль нагружена распределенной нагрузкой постоянной интенсивности q . Определите изгибающий момент в сечении 1—1.



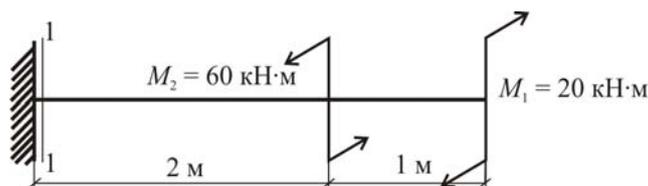
О т в е т: $M = -150$ кН·м.

4. Консоль нагружена двумя изгибающими моментами. Определите изгибающий момент в сечении 1—1.



О т в е т: $M = -40$ кН·м.

5. Консоль загружена двумя крутящими моментами. Определите крутящий момент в сечении 1—1.



О т в е т: $M = 40$ кН·м.

Модуль 2

Геометрические характеристики поперечных сечений стержней

Содержание модуля

Определения. Статические моменты. Определение центра тяжести сечения. Зависимости между моментами инерции при параллельном переносе осей. Изменение моментов инерции при повороте осей. Главные оси и главные моменты инерции. Моменты инерции простых сечений. Радиусы инерции и моменты сопротивления

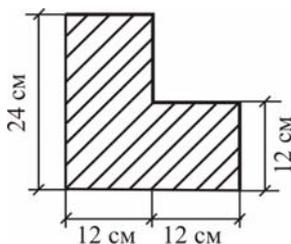
Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. По каким формулам определяют координаты центра тяжести плоского сечения (фигуры)?
2. Если плоское сечение имеет одну, две или более осей симметрии, то где лежит центр тяжести сечения?
3. Какие оси называются главными, а какие — главными центральными осями инерции сечения?
4. По каким формулам определяются моменты инерции прямоугольника bh и круга d относительно главных центральных осей?
5. Как определяется положение главных осей? По каким формулам находятся главные центральные моменты инерции сечения?

Задачи для самопроверки

1. Определите центр тяжести поперечного сечения, изображенного на рис.

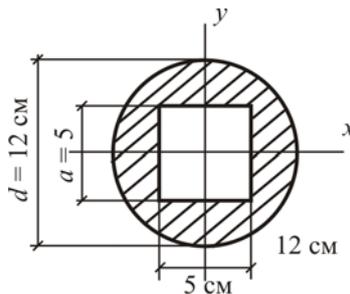


Указания. 1. Сечение разбивается на две части — два прямоугольника. 2. Задаем начальными осями x_n и y_n . 3. Вычисляем геометрические характеристики каждой части: площади A_1, A_2 и положение центров тяжести каждой части x_{c1}, y_{c1} и x_{c2}, y_{c2} в системе начальных осей. 4. Применяя формулы $x_c = \frac{S_y}{A} = \frac{A_1 x_{c1} + A_2 x_{c2}}{A_1 + A_2}$, $y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{A_1 y_{c1} + A_2 y_{c2}}{A_1 + A_2}$, находим координаты центра тяжести сечения. 5. По найденным координатам откладываем точку C и проводим центральные оси SXY . Центр тяжести сечения находится на линии, соединяющей центры тяжести прямоугольников.

2. Определить осевые моменты инерции прямоугольника высотой $h = 24$ см и шириной $b = 12$ см и круга диаметром $d = 24$ см относительно главной центральной оси x .

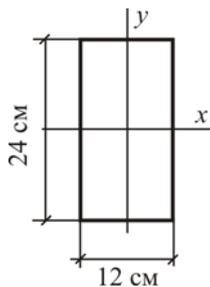
О т в е т: прямоугольник $J_x = 13824$ см⁴, круг $J_x = 16277,76$ см⁴.

3. Определите осевые и полярный момент инерции сечения, изображенного на рис.



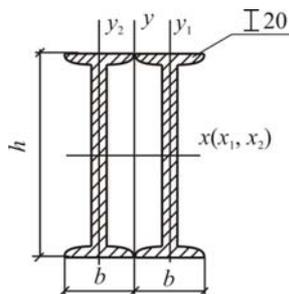
О т в е т: $J_x = J_y = 16277,76 \text{ см}^4$, $J_p = 32555,52 \text{ см}^4$.

4. Вычислите главные центральные моменты и радиусы инерции поперечного сечения.



О т в е т: $J_x = 13824 \text{ см}^4$, $J_y = 3456 \text{ см}^4$, $i_x = 6,93 \text{ см}$, $i_y = 6,93 \text{ см}$.

5. Определите главные моменты инерции I_x и I_y поперечного составного сечения, состоящего из двух двутавров № 20 и изображенного на рис.



Ответ: $J_x = 3680 \text{ см}^4$, $J_y = 2510 \text{ см}^4$.

Указания. 1. Сечение имеет две оси симметрии. Центр тяжести сечения лежит на пересечении этих осей. 2. Из ГОСТ 8239—89 по табл. «Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент» выпишем размеры: высоту, ширину полки b , площадь поперечного сечения и моменты инерции двутавра J_x и J_y . 3. Используя зависимости между моментами инерции относительно параллельных осей, определяем главные моменты инерции сечения.

Модуль 3

Центральное (осевое) растяжение и сжатие стержней

Содержание модуля

Основные понятия. Метод сечений. Дифференциальные зависимости между q и N . Продольные силы и их эпюры. Напряжения, деформации и перемещения. Закон Гука. Коэффициент Пуассона. Механические свойства материалов. Расчеты на прочность

Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

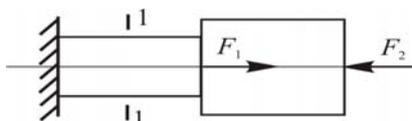
1. Какие деформации называют центральным растяжением-сжатием?
2. Как вычисляются напряжения в поперечном и наклонном сечении стержня?
3. Сформулируйте закон Гука, объясните, что такое коэффициент Пуассона и запишите их математическое выражение.

4. Какие деформации называют упругими, а какие — остаточными? Запишите формулы для определения абсолютной и относительной линейной продольной и поперечной деформации стержня.

5. По какой формуле осуществляется расчет на прочность элементов, подверженных центральному растяжению или сжатию стержня по методу предельного состояния? Какие задачи можно решить, используя эти формулы?

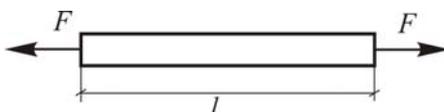
Задачи для самопроверки

1. Ступенчатый стержень нагружен двумя силами $F_1 = 500$ кН, $F_2 = 250$ кН. Определите в сечении 1—1 нормальное напряжение. Площадь поперечного сечения 1—1 $A = 25$ см².



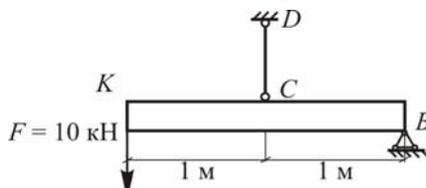
О т в е т: $\sigma = 100$ МПа (растяжение).

2. Определите абсолютную и относительную деформацию стержня, представленного на рис. Модуль продольной упругости материала $E = 210$ ГПа = $210 \cdot 10^6$ кН/м², $F = 100$ кН, $l = 2,1$ м. Площадь поперечного сечения $A = 10$ см² = $10 \cdot 10^{-4}$ м².



О т в е т: $\Delta l = 1$ мм, $\varepsilon = 0,000476$.

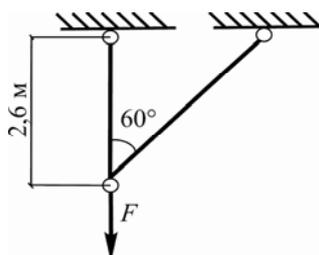
3. Дана статически определимая конструкция плоской шарнирно-стержневой системы, состоящей из абсолютно жесткого бруса BK , опертого на шарнирную опору B и прикрепленного к одному стержню CD при помощи шарнира D . Из условия прочности по предельному состоянию при коэффициенте условий работы $\gamma_c = 1$, расчетном сопротивлении материала $R = 210$ МПа = 21 кН/см² определите площадь поперечного сечения стержня CD .



О т в е т: $A = 0,95$ см².

Указания. 1. На расчетной схеме показать продольную силу N , возникающую в стержне CD . Направление стрелки показать от бруса KB . 2. Определить величину продольной силы из уравнения равновесия $\sum M_B = 0$. 3. Из условия прочности найти требуемую площадь поперечного сечения стержня. Окончательная площадь поперечного сечения стержня должна быть принята равной или больше требуемой величины площади сечения.

4. Система из стальных стержней нагружена силой $F = 60$ кН. Определите нормальные напряжения в поперечных сечениях стержней. Площадь поперечных сечений стержней $A = 5$ см².

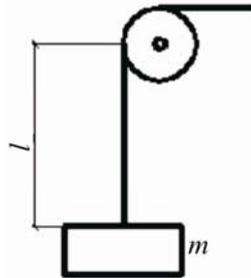


О т в е т: $\sigma_1 = 120$ МПа, $\sigma_2 = 0$.

Указания. 1. Вырезать узел, где сходятся стержни. 2. Показать силовую схему. 3. Усилия N_1 и N_2 направить от узла, считая их растягивающими. 4. Составить два уравнения равновесия $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$. Определить усилия N_1 и N_2 и нормальные напряжения в поперечных сечениях стержней.

5. Определить абсолютное осевое удлинение стального троса длиной $l = 12$ м и площадью сечения $A = 175,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, если масса груза m , извлекаемого из колодца, равна 3000 кг.

Модуль продольной упругости $E = 210 \text{ ГПа} = 21 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, объемный вес единицы объема равен $\gamma = \rho g$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, плотность $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.



Указание. Абсолютное удлинение троса найдите по формуле $\Delta l = \frac{Nl}{EA} + \frac{\gamma l^2}{2E}$ $N = mg$.

Модуль 4

Двухосное напряженное состояние

Содержание модуля

Напряженное состояние в точке. Виды напряженного состояния. Одноосное напряженное состояние. Условие прочности. Двухосное напряженное состояние. Главные площадки и главные напряжения. Максимальные касательные напряжения. Закон Гука при плоском напряженном состоянии. Обобщенный закон Гука

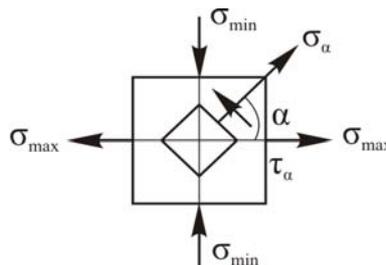
Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какие виды напряженного состояния вы знаете?
2. Правила знаков для нормальных и касательных напряжений.
3. Как определяются нормальные σ_α и касательные напряжения τ_α на наклонных площадках, если по контуру элемента действуют главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \tau = 0$?
4. Как определяются положения главных площадок и главных напряжений $\sigma_1 = \sigma_{\max}$ и $\sigma_2 = \sigma_{\min}$, экстремальные касательные напряжения $\tau_1 = \tau_{\max}$, $\tau_2 = \tau_{\min}$, если по граням малого элемента действуют напряжения σ_x, σ_y и τ_{xy} ?
5. Напишите закон Гука при плоском напряженном состоянии.

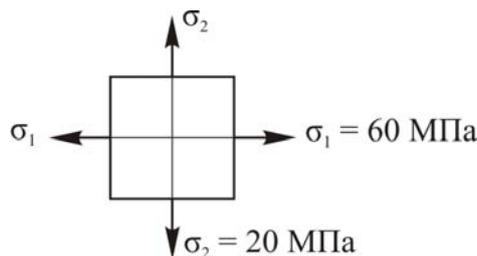
Задачи для самопроверки

1. На рис. указаны главные напряжения $\sigma_{\max} = 15 \text{ МПа}$ и $\sigma_{\min} = -35 \text{ МПа}$. Определить значения нормального σ_α и касательного τ_α напряжений, действующих на гранях прямоугольного элемента, повернутого на угол $\alpha = 30^\circ$.



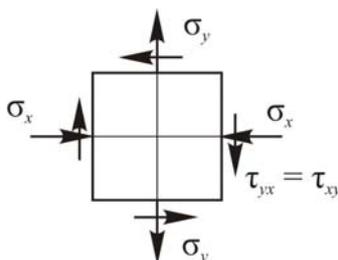
О т в е т: $\sigma_\alpha = 2,5 \text{ МПа}$, $\tau_\alpha = 21,65 \text{ МПа}$.

2. В точке имеем плоское напряженное состояние $\sigma_1 = 60$ МПа, $\sigma_2 = 20$ МПа. Определить максимальное касательное напряжение.



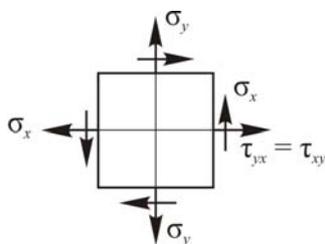
О т в е т: $\tau_1 = 20$ МПа.

3. По исходным напряжениям $\sigma_x = -20$ МПа, $\sigma_y = 80$ МПа и $\tau_{xy} = -50$ МПа в точке найти значения экстремальных касательных напряжений $\tau_1 = \tau_{\max}$, $\tau_2 = \tau_{\min}$.



О т в е т: $\tau_1 = 70,71$ МПа, $\tau_2 = -70,71$ МПа.

4. Стальной элемент находится под действием сил, создающих плоское напряженное состояние. Известны напряжения $\sigma_x = 30$ МПа, $\sigma_y = 10$ МПа и $\tau_{xy} = 10$ МПа. Модуль продольной упругости равен $E = 210$ ГПа = $210 \cdot 10^3$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$. Определить относительные деформации ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z , используя закон Гука для плоского напряженного состояния.



О т в е т: $\epsilon_x = 0,000129$, $\epsilon_y = 0,000005$, $\epsilon_z = -0,000057$.

Модуль 5

Основы теорий прочности

Содержание модуля

Основные понятия. Простое и сложное напряженные состояния. Предельное напряженное состояние. Эквивалентное напряженное состояние. Гипотезы (теории прочности), позволяющие считать сложное и линейное напряженные состояния равноопасными

Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

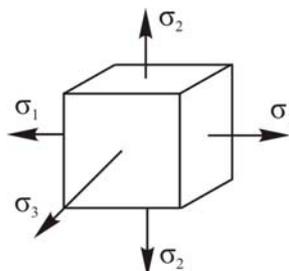
1. Как определяется эквивалентное напряжение при сложном напряженном состоянии?
2. На каком критерии основывается третья теория прочности? Запишите условие прочности по этой теории. Какой вид принимает это условие для плоского напряженного состояния, если заданы напряжения $\sigma_x = \sigma$, $\sigma_y = 0$ и $\tau_{xy} = \tau$?
3. На каких критериях основываются первая и вторая теория прочности? Запишите условия прочности по этим теориям.

4. На каком критерии основывается четвертая теория прочности? Запишите условие прочности по этой теории. Какой вид принимает это условие для плоского напряженного состояния, если заданы напряжения $\sigma_x = \sigma$, $\sigma_y = 0$, $\tau_{xy} = \tau$?

5. На каком критерии основывается теория прочности Мора? Запишите условие прочности по этой теории.

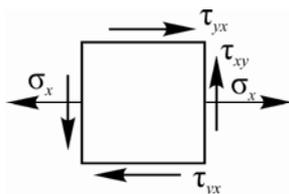
Задачи для самопроверки

1. Для элементарного параллелепипеда, по граням которого действуют главные напряжения $\sigma_1 = 125$ МПа, $\sigma_2 = 85$ МПа, $\sigma_3 = -55$ МПа, определить расчетное напряжение, пользуясь третьей теорией прочности.



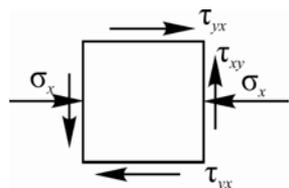
О т в е т: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{III}} = 180$ МПа.

2. На рис. показан элемент, находящийся в условиях плоского напряженного состояния, $\sigma_x = 100$ МПа, $\sigma_y = 0$, $\tau_{xy} = \tau_{yx} = 20$ МПа. Вычислить расчетное напряжение по третьей теории прочности.



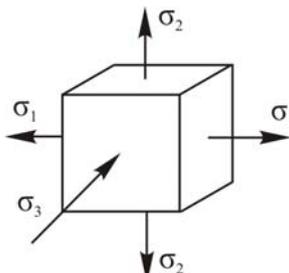
О т в е т: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{III}} = 107,70$ МПа.

3. На рис. показан элемент, находящийся в условиях плоского напряженного состояния, $\sigma_x = -100$ МПа, $\sigma_y = 0$, $\tau_{xy} = \tau_{yx} = 20$ МПа. Вычислить расчетное напряжение по четвертой теории прочности.



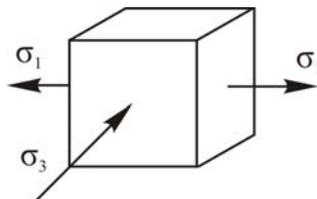
О т в е т: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{IV}} = 105,83$ МПа.

4. Используя теорию прочности Мора, вычислить расчетное напряжение. Отношение предельных напряжений при растяжении и сжатии равно 0,5. Принять $\sigma_1 = 100$ МПа, $\sigma_2 = 40$ МПа, $\sigma_3 = -80$ МПа.



О т в е т: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{V}} = 140$ МПа.

5. Используя теорию прочности Мора, вычислить расчетное напряжение. Отношение предельных напряжений при растяжении и сжатии равно 0,5. Принять $\sigma_1 = 120$ МПа, $\sigma_2 = 0$, $\sigma_3 = -80$ МПа.



О т в е т: $\sigma_{\text{ЭКВ}}^V = 160$ МПа.

Модуль 6

Сдвиг. Расчет соединений, работающих на сдвиг

Содержание модуля

Понятие о срезе и смятии. Деформации сдвига — абсолютный и относительный сдвиги. Закон Гука при сдвиге в пределах упругости. Зависимость между упругими постоянными материала E , G и ν . Расчет болтовых и заклепочных соединений. Расчет сварных соединений

Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какой вид деформации стержня называют сдвигом (срезом)? Допустимо ли считать, что касательные напряжения среза τ_s равномерно распределены по поперечному сечению площадью A ?

2. Какой зависимостью связаны между собой абсолютной сдвиг Δ и относительный сдвиг?

3. Сформулируйте закон Гука при сдвиге и напишите его математическое выражение.

4. Условие прочности на срез болтовых и заклепочных соединений имеет вид:

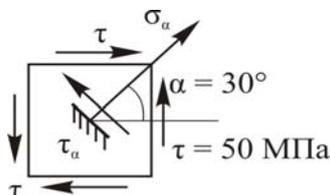
$$\tau = \frac{N}{A_s} = \frac{N}{A_s n_s n} \leq R_s \gamma_c. \text{ Объясните, что такое } R_s, A_s, n_s, n.$$

5. Условие прочности на срез сварных нахлесточных соединений имеет вид:

$$\tau = \frac{N}{A_{wf}} = \frac{N}{\beta_f k_f \sum l_w} \leq R_{wy} \gamma_c. \text{ Объясните, что такое } N, l_w, R_{wy}.$$

Задачи для самопроверки

1. В точке имеем плоское напряженное состояние чистого сдвига. Определите на наклонной площадке значение нормального σ_α и касательного τ_α напряжений.

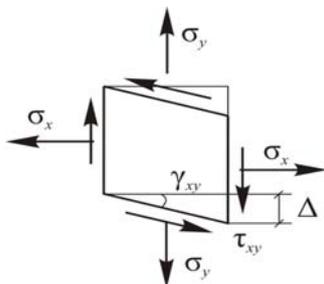


О т в е т: $\sigma_\alpha = 43,3$ МПа, $\tau_\alpha = 25$ МПа.

2. Определить модуль сдвига G , если модуль продольной упругости $E = 210$ ГПа и коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$.

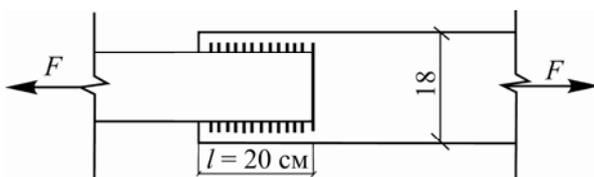
О т в е т: $G = 80,77$ ГПа.

3. Определить угловую деформацию (относительный сдвиг γ_{xy}) для заданного напряженно-деформированного состояния $\tau_{xy} = \tau_{yx} = 40$ МПа, $\sigma_x = \sigma_y = 100$ МПа. Модуль сдвига $G = 80$ ГПа.



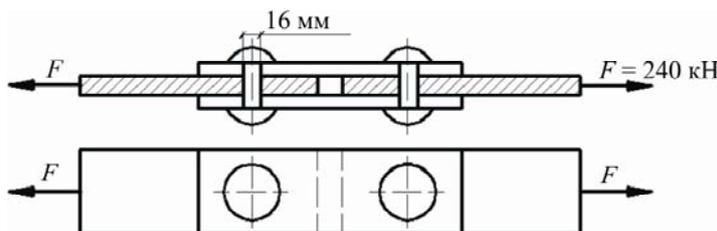
О т в е т: $\gamma_{xy} = 0,0005$.

4. Две полосы соединены двумя угловыми швами толщиной $h = 1,2$ см. Необходимо проверить прочность сварных швов ($\tau \leq \gamma_c R_{wy}$), если расчетное сопротивление угловому срезу $R_{wy} = 180$ МПа, $\gamma_c = 1$, $\beta_f = 0,7$. Принять расчетную продольную силу $F = 200$ кН.



О т в е т: $\tau = 59,52$ МПа $<$ $R_{wy} = 180$ МПа. Прочность обеспечена.

5. Два листа соединены с помощью двух накладок и заклепок диаметром $d = 16$ мм. Толщина листов и накладок $t = 2$ мм. Определите требуемый диаметр вала, используя условие прочности. Абсолютный крутящий момент в сечении $M_{zmax} = 1,5$ кН·м. Допускаемое касательное напряжение стали $[\tau] = 30$ МПа.



Указание. При подборе сечения из условия прочности определяют требуемый полярный момент сопротивления $W_p = M_{zmax}$, а затем из выражения $W_p = \pi d^3$ находят диаметр вала.

Модуль 7

Кручение стержня круглого сечения

Содержание модуля

Крутящие моменты и их эпюры. Напряжения и деформации кручения. Закон Гука при кручении. Расчеты на прочность и жесткость валов круглого и кольцевого сечений

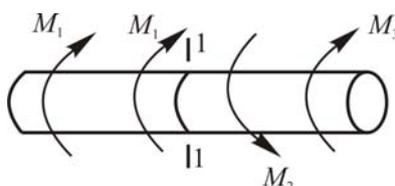
Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какой вид деформации называют кручением?
2. Как определяется внутренний крутящий момент в поперечных сечениях вала?
3. Как определяются полярные момент инерции и момент сопротивления поперечного сечения валов круглого и кольцевого сечений?
4. Какие напряжения действуют в поперечном сечении вала при кручении? Как определяется это напряжение в произвольной точке поперечного сечения вала? Напишите условие прочности.
5. Как рассчитать абсолютный и относительный углы закручивания круглого вала? Напишите условие жесткости.

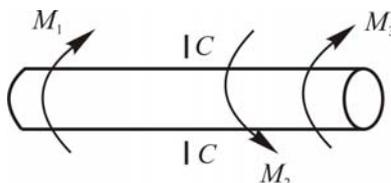
Задачи для самопроверки

1. Определить значение крутящего момента в сечении 1—1 вала. Принять $M_1 = M_3 = 20$ кН·м, $M_2 = 60$ кН·м.



Ответ: $M = 40$ МПа.

2. Вал нагружен системой трех внешних крутящих моментов, причем $M_1 = M_3 = 20$ кН·м, $M_2 = 40$ кН·м. Определить значение касательного напряжения τ в точках сечения C—C, лежащих на расстоянии $\rho = 5$ см от центра круглого поперечного сечения вала, если диаметр равен $d = 90$ мм = 9 см.



О т в е т: $\tau = 155,32$ МПа.

Указание. Касательное напряжение в произвольной точке поперечного сечения круглого цилиндрического бруса определяется по формуле $\tau = M_\rho/J_\rho$.

3. Определить требуемый диаметр вала, используя условие прочности. Абсолютный крутящий момент в сечении равен $M_{\text{max}} = 1,5$ кН·м. Допускаемое касательное напряжение стали $[\tau] = 30$ МПа.

О т в е т: $d = 6,33$ см.

Указание. При подборе сечения из условия прочности определяют требуемый полярный момент сопротивления $W_\rho = M_{\text{max}}/[\tau]$, а затем из выражения $W_\rho = \pi d^3/16$ находят значение диаметра вала.

4. Найти наружный диаметр полого стального вала d длиной $l = 2$ м при действии крутящего момента $M = 14$ кН·м из условия прочности и жесткости, если $[\tau] = 80$ МПа = 8 кН/см², и допускаемом угле закручивания $[\varphi^\circ] = 0,4$ град/м. Отношение внутреннего диаметра к наружному $\alpha = d_0 / d = 0,8$.

Указание. Условия прочности и жесткости имеют вид: $\tau = \frac{M}{W_\rho} \leq [\tau]$, $\varphi = \frac{Ml}{GJ_\rho} \frac{180^\circ}{\pi} \leq [\varphi^\circ]$.

Полярные момент инерции и момент сопротивления определяются по формулам

$$J_\rho = \frac{\pi d^4}{32}(1-\alpha^4), \quad W_\rho = \frac{\pi d^4}{16}(1-\alpha^4).$$

5. Определить значение крутящего момента M , если мощность двигателя $N = 8000$ кВт, частота вращения вала $n = 180$ об/мин.

Указание. При вводе N , кВт, и n , об/мин, $M = 9,55 N/n$ кН·м.

Модуль 8

Прямой плоский изгиб

Содержание модуля

Плоский прямой изгиб. Изгибающий момент и поперечная сила. Правила знаков для M и Q . Построение эпюр M и Q . Опасные сечения. Нормальные и касательные напряжения при изгибе. Главные напряжения при изгибе. Расчет балок на прочность. Внутренние усилия в рамах при изгибе

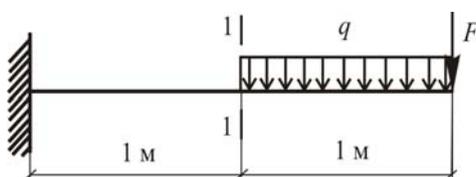
Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какой изгиб называется прямым плоским изгибом?
2. Как определяются поперечная сила и изгибающий момент в сечении балки при изгибе? Построение эпюр изгибающих моментов и поперечных сил.
3. По каким формулам определяются нормальные и касательные напряжения? Как определяется знак напряжений?
4. Запишите условия прочности по нормальным и касательным напряжениям, если сечение балки симметрично относительно нейтральной оси x , а материал балки одинаково сопротивляется растяжению и сжатию. Для каких сечений и точек сечения записываются условия прочности?
5. Приведите формулу для подбора сечения балки W_x при известном наибольшем изгибающем моменте $M_x^{нб}$, расчетном сопротивлении растяжению (сжатию) при изгибе R и коэффициенте условий работы γ_c .

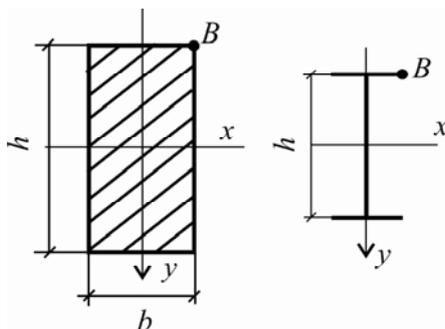
Задачи для самопроверки

1. Определите в сечении 1—1 значения изгибающего момента и поперечной силы, если $F = 40$ кН, $q = 20$ кН/м.



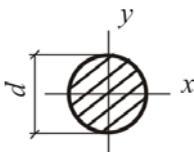
О т в е т: $M = -50$ МПа, $Q = 60$ кН.

2. Определите нормальные напряжения σ в точке B поперечных сечений прямоугольника ($b = 1,34$ см, $h = 20$ см, $I_x = \frac{bh^3}{12}$) и двутавра № 20 ($I_x = 1840$ см⁴), имеющих одинаковые высоты ($h = 20$ см) и площадь сечений $A = 26,8$ см² при $M_x = -18$ кН·м. Сравните напряжения и сделайте вывод о наиболее экономичном сечении.



О т в е т: двутавр $\sigma = 97,83$ МПа, прямоугольник $\sigma = 201,5$ МПа. Экономичное сечение у двутавра.

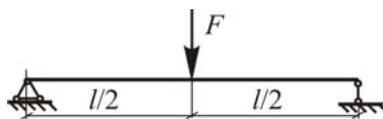
3. Определить нормальное и касательное напряжения в точке A круглого поперечного сечения $d = 24$ см, если изгибающий момент $M_x = 100$ кН·м и поперечная сила $Q = 80$ кН.



Ответ: $\sigma = 0$, $\tau = 2,36$ МПа.

Указание. Площадь круга определяется по формуле $A = \pi d^2/4$.

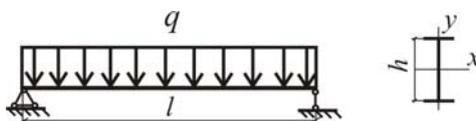
4. Проверить прочность деревянной балки (сосна) прямоугольного сечения по нормальным напряжениям. Расчетное сопротивление материала $R_p = 14$ МПа, $R_{сж} = 1,8$ МПа. Принять $l = 4$ м, $h = 2b$, $b = 10$ см, $F = 6$ кН.



О т в е т: прочность не обеспечена, так как $\sigma_p = 8,9$ МПа $< R_p$ МПа, $\sigma_{сж} = 8,9$ МПа $> R_{сж} = 1,8$ МПа.

Указания. 1. Определить опорные реакции. Найти в опасном сечении балки значение наибольшего изгибающего момента $M_x^{нб}$. 2. Проверка прочности сечения осуществляется по формуле $\sigma = M_x^{нб} / W_x \leq \gamma_c R$.

5. Подобрать поперечное сечение однопролетной стальной балки (двутавр), нагруженной равномерно распределенной нагрузкой $q = 12$ кН/м и $l = 4$ м, коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$, расчетное сопротивление материала принять $R = 240$ МПа.



О т в е т: двутавр № 30.

Указания. 1. Определить опорные реакции. 2. Найти в опасном сечении балки значение наибольшего изгибающего момента $M_x^{нб}$. Подбор сечения осуществляется по формуле $W_x = M_x^{нб} / \leq \gamma_c R$.

Модуль 9

Перемещения при прямом плоском изгибе

Содержание модуля

Основные понятия. Линейные и угловые перемещения. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки и его интегрирование. Метод начальных параметров. Формула Мора для определения перемещений. Вычисление интеграла Мора. Правило А. К. Верещагина перемножения эпюр. Расчет балок на жесткость

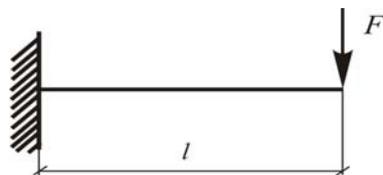
Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какие перемещения принято называть прогибом и углом поворота поперечных сечений?
2. Запишите обобщенное уравнение прогибов метода начальных параметров. Что такое v_0 , φ_0 ?
3. Формула Мора для определения перемещений при изгибе. Формула Симпсона для вычисления интеграла Мора.
4. Правило Верещагина для вычисления интеграла Мора.
5. Запишите условие жесткости балки при изгибе.

Задачи для самопроверки

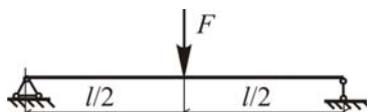
1. Составить выражения прогибов для консольной балки постоянного сечения ($EI_x = \text{const}$) и определить прогиб под силой.



О т в е т: $v = Fl^3/3EJ_x$.

Указания. 1. Из уравнений статики определить опорную реакцию и изгибающий момент в сечении заделки. 2. Составить уравнение прогибов метода начальных параметров. 3. Найти начальные параметры v_0 , φ_0 и величину прогиба.

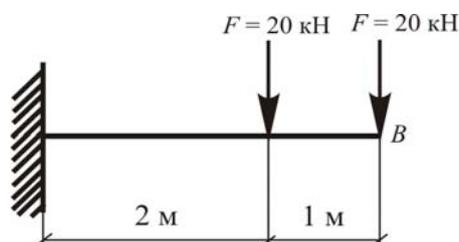
2. Определить прогиб под силой в двухопорной балке постоянной жесткости ($EI_x = \text{const}$), используя способ Верещагина — способ перемножения эпюр.



О т в е т: $v = Fl^3/48EJ_x$.

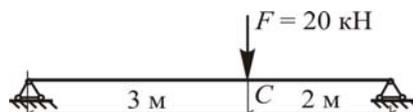
Указания. 1. Из уравнений статики определяем опорные реакции. 2. Строим эпюру изгибающих моментов (грузовая эпюра). Балку освобождаем от внешней нагрузки. В сечении, где определяется прогиб, прикладываем единичную силу и, определив реакции от этой силы, строим эпюру изгибающих моментов. 3. Перемножая две эпюры по правилу Верещагина, находим значение прогиба под силой.

3. Для балки, защемленной одним концом, определите прогиб свободного конца B по методу Мора.



О т в е т: $v = 1622/6EJ_x$.

4. Для заданной балки постоянной жесткости определить прогиб в сечении C по методу Мора, используя вычисление интеграла по способу Симпсона.



О т в е т: $v = 288/6EJ_x$.

5. Проверить условие жесткости для балки (см. рис. к задаче 2). Принять модуль продольной упругости $E = 210 \text{ ГПа} = 21 \cdot 10^3 \text{ кН/см}^2$, $l = 4 \text{ м}$, $F = 100 \text{ кН}$. Поперечное сечение балки — двутавр № 20. Главный момент инерции $I_x = 1840 \text{ см}^4$. Допустимый прогиб равен $f = [v] = \frac{1}{300}l$.

О т в е т: жесткость обеспечена, так как $v = 0,00002 \text{ см} < [v] = 1,67 \text{ см}$.

Модуль 10

Статически неопределимые системы

Содержание модуля

Понятие о статически неопределимых системах. Степень статической неопределимости. Применение метода сил для расчета плоских стержневых систем (балок и рам)

Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какие системы называют статически неопределимыми?
2. Как определяется степень статической неопределимости системы?
3. Что такое основная и эквивалентная системы?
4. Как влияет на степень статической неопределимости наличие шарнира в системе?
5. Каков физический смысл каждого из канонических уравнений для системы, два раза статически неопределимой?

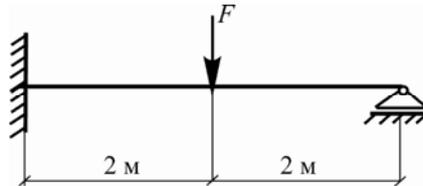
Задачи для самопроверки

1. Определите степень статической неопределимости балки.



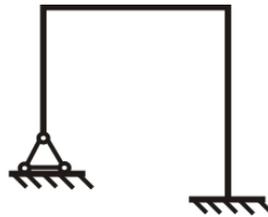
Указание. Степень статической неопределимости находится как разность между числом неизвестных и числом независимых уравнений статики.

2. Для статически неопределимой балки получите основную и эквивалентную системы. Объясните порядок расчета балки.

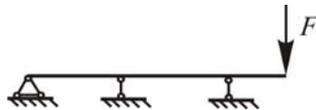


Указание. У заданной балки отбросим опору и заменим ее действие неизвестной опорной реакцией, при этом полученная основная система должна быть статически определимой и геометрически неизменяемой.

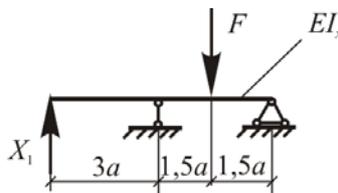
3. Сколько раз статически неопределимой является рама?



4. Какой вид имеет основная система для показанной на рис. статически неопределимой балки?



5. Определите коэффициент δ_{11} канонического уравнения $\delta_{11}X_1 + \Delta_{1F}$, составленного для основной системы. Принять изгибную жесткость $EI_x = \text{const}$.



О т в е т: $\delta_{11} = 108a^3/6EI_x$.

Указания. 1. Для определения коэффициента δ_{11} необходимо удалить силу F , построить эпюру изгибающих моментов от единичной силы $X_1 = 1$. 2. Определить δ_{11} , перемножив эпюру изгибающих моментов саму на себя, используя метод Верещагина или Симпсона.

Модуль 11

Сложное сопротивление

Содержание модуля

Основные виды сложного сопротивления. Косой изгиб. Прямой изгиб с осевым растяжением (сжатием). Внецентренное сжатие бруса большой жесткости. Кручение с изгибом. Нормальные напряжения. Расчеты на прочность

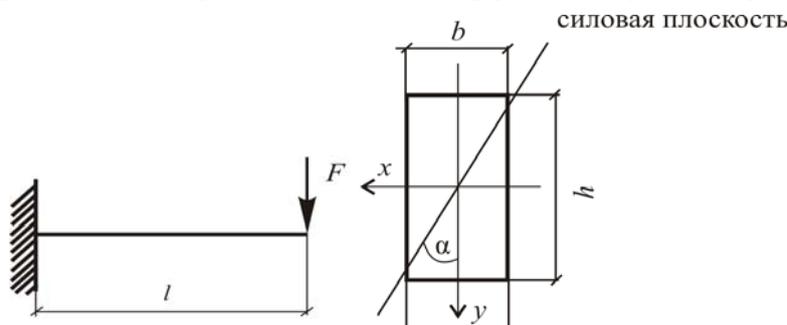
Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какой вид деформации бруса называют сложным сопротивлением или сложной деформацией?
2. Какие внутренние усилия возникают в поперечном сечении бруса при косом изгибе и внецентренном растяжении (сжатии)?
3. Какой вид нагружения называется косым изгибом? Напишите формулы для определения напряжения и нулевой линии. Условие прочности.
4. Прямой изгиб с осевым растяжением (сжатием). Напишите формулы для определения напряжений и нулевой линии. Условие прочности.
5. Какие напряжения возникают при внецентренном растяжении (сжатии) колонны и как они вычисляются? Напишите формулы для определения нулевой линии. Условие прочности. Что такое «ядро сечения»?

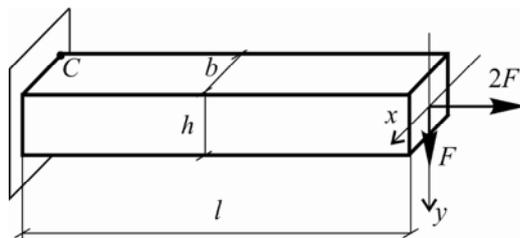
Задачи для самопроверки

1. Балка прямоугольного сечения с моментами сопротивления W_x и W_y нагружена силой F , силовая линия составляет с вертикальной осью y угол α . Запишите условие прочности при расчетном сопротивлении R и коэффициенте условий работы γ_c .



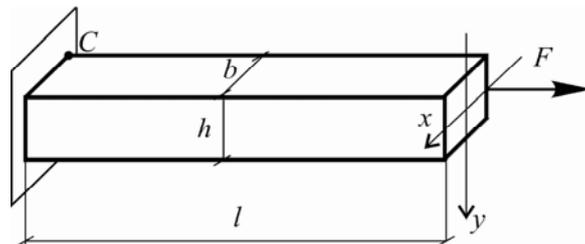
Указание. Имеет место случай плоского косоугольного изгиба. Условие прочности записывается для опасного сечения бруса.

2. Брус прямоугольного сечения с площадью сечения A и моментами сопротивления W_x и W_y нагружен силами F_1 и F_2 . Определите напряжение в точке C .



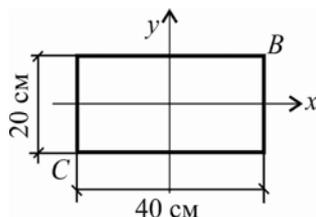
Указание. Имеет место случай прямого плоского изгиба с осевым растяжением.

3. Брус прямоугольного сечения с площадью сечения A и моментами сопротивления W_x и W_y нагружен силой F . Определите напряжение в точке C .



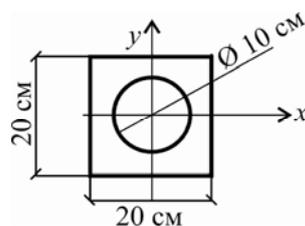
Указание. Имеет место случай внецентренного растяжения.

4. Брус сжимается силой, приложенной в точке B . Определите положение нейтральной (нулевой) линии в сечении.



Указание. Положение нулевой линии в сечении определяется отрезками, отсекаемыми ею на главных осях сечения. $a_x = -\frac{i_y^2}{x_F}$, $a_y = -\frac{i_x^2}{y_F}$.

5. Построить ядро сечения для поперечного сечения бруса.



Указание. Координаты ядра сечения определяются по формулам $x_F = -i_y^2/a_x$, $y_F = -i_x^2/a_y$.

Модуль 12

Устойчивость сжатых стержней

Содержание модуля

Основные понятия. Формула Эйлера. Гибкость стержня. Пределы применимости формулы Эйлера. Предельная гибкость. Формула Ясинского. Практический расчет на устойчивость

Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Что является признаком потери устойчивости сжатого стержня?
2. Какая сила называется критической силой сжатого стержня?
3. Что такое гибкость стержня, приведенная длина и предельная гибкость?
4. Когда применимы формула Эйлера и формула Тетмайера — Ясинского для определения критической силы?
5. Запишите условие устойчивости для сжатого стержня. Какие виды расчета позволяют производить это условие?

Задачи для самопроверки

1. Определить значение гибкости сжатого стального стержня длиной $l = 5$ м, имеющего прямоугольное поперечное сечение 4×6 см, один конец которого жестко зашплен, а другой свободен.

Указание. Значение гибкости сжатого стержня определяется по формуле $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$, $i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}$.

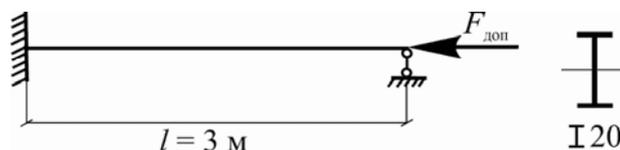
2. Определить значение предельной гибкости сжатого стального стержня. Принять модуль продольной упругости $E = 210$ ГПа = $210 \cdot 10^3$ МПа, а предел пропорциональности $\sigma_{\text{пр}} = 200$ МПа.

Указание. Предельная гибкость, отвечающая равенству $\sigma_{\text{кр}} = \sigma_{\text{пр}}$, определяется по формуле

$$\lambda_e = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{\text{пр}}}}$$

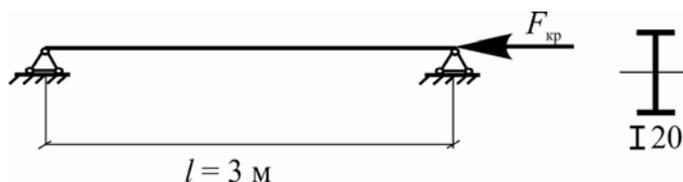
3. Определите критическое напряжение для центрально сжатой стойки с шарнирно опертыми концами длиной $l = 1,8$ м. Поперечное сечения стойки представляет собой двутавр № 20, радиусы инерции которого равны $i_x = 8,28$ см, $i_y = 2,07$ см. Зависимость критического напряжения от гибкости λ для стали Ст.3 выражается формулой Тетмайера — Ясинского $\sigma_{кр} = a - b\lambda$, где $a = 310$ МПа и $b = 1,14$ МПа.

4. Определить допускаемое значение сжимающей силы для стержня круглого сечения диаметром $d = 80$ мм, длиной $l = 3$ м. Материал стержня — сталь Ст.3. Требуемый коэффициент запаса устойчивости $[n]_s$.



Указание. Допускаемое значение сжимающей силы определяется по формуле $[F] = F_{кр} / [n]_s$. Коэффициент приведения длины, зависящий от способа закрепления концов стержня, $\mu = 0,7$.

5. Проверить устойчивость центрально сжатого стального стержня. Материал — сталь Ст.3. Модуль продольной упругости $E = 210$ ГПа = $210 \cdot 10^3$ МПа. Поперечное сечение стержня — двутавр № 20. Коэффициент приведения длины, зависящий от способа закрепления концов стержня, равен $\mu = 1$. $F = 200$ кН.



Указания. 1. Условие устойчивости при центральном сжатии имеет вид $\sigma = \frac{N}{A} \leq \varphi \gamma_c R$.

2. Площадь двутавра определяется из табл. по сортаменту прокатной стали. 3. Коэффициент продольного изгиба φ определяется по значению гибкости $\lambda = \mu l / i_{\min}$ и материалу (сталь) путем интерполяции.

Модуль 13

Динамические и повторно переменные нагрузки

Содержание модуля

Определения. Подъем груза с ускорением. Динамический коэффициент. Удар. Условие прочности. Усталость материалов

Контрольные задания

Вопросы для самопроверки

1. Какие нагрузки называются статическими, какие динамическими?
2. Инерционные нагрузки. Как определяются динамический коэффициент и динамические напряжения при равноускоренном подъеме груза? Условие прочности.
3. Упругий удар. Как определяются динамический коэффициент, динамическое напряжение и перемещения при продольном и поперечном ударе, когда масса ударяемой конструкции мала по сравнению с массой ударяющего тела? Условие прочности.
4. Как определяется величина динамического коэффициента упругой системы с приведенной массой?
5. Что называется пределом выносливости (усталости)? От чего зависит долговечность детали?

Задачи для самопроверки

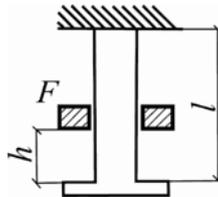
1. Определить динамическое напряжение, возникающее в поперечном сечении стального каната длиной $l = 40$ м, с помощью которого поднимается вверх кабина лифта с ускорением $a = 5\frac{M}{c^2}$. Площадь поперечного сечения каната $A = 12,56 \text{ см}^2 = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Плотность материала каната $\rho = 7,75 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Масса кабины лифта $m = 500 \text{ кг}$.

Указание. Из условия динамического равновесия динамическое усилие определяется так: $N_d = N_{st}k_d = (mg + \rho gAl)k_d$. Динамический коэффициент $k_d = 1 + \frac{a}{g}$. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

2. Проверить прочность стального каната (см. задачу 1), если допускаемое расчетное сопротивление $R = 30 \text{ МПа}$.

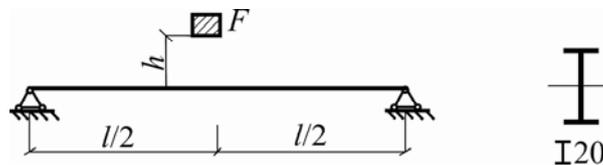
Указание. Условие прочности по нормальным напряжениям имеет вид $\sigma_d = \sigma_{st}k_d \leq R$, $\sigma_{st} = N_{st} / A$.

3. Груз весом $F = 50 \text{ Н}$ падает с высоты h на выступ стержня длиной $l = 2 \text{ м}$. Принять площадь поперечного сечения стержня $A = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Модуль Юнга $E = 210 \text{ ГПа} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Определить динамическое удлинение, напряжение в стержне при высоте падения $h = 1 \text{ см}$ и при внезапном приложении нагрузки, т. е. при $h = 0$.



Указание. Динамическое напряжение определяется по формуле $\sigma_d = \sigma_{st}k_d$. Напряжение от статической нагрузки ($N_{st} = F$) равно $\sigma_{st} = N_{st}/A$. Динамический коэффициент равен $k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta l_{st}}}$, $\Delta l_{st} = \frac{N_{st}l}{EA}$.

4. Определить наибольшее динамическое напряжение в поперечном сечении стальной балки двутаврового сечения длиной $l = 6 \text{ м}$. Груз весом $F = 2 \text{ кН}$ падает с высоты $h = 15 \text{ см}$. Модуль Юнга $E = 210 \text{ ГПа} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.



Указание. $\sigma_{dmax} = \sigma_{stmax}k_d\sigma_{dmax} = M_{stmax} / W_x k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta l_{st}}}$ $\Delta l_{st} = v_{st} v_{st}$ — величина прогиба

под силой от статической нагрузки F . W_x — момент сопротивления поперечного сечения балки двутавр № 20.

5. Проверить прочность стальной балки (см. задачу 4), если расчетное сопротивление $R = 240 \text{ МПа}$.

Указание. Условие прочности по нормальным напряжениям имеет вид $\sigma_{dmax} = \sigma_{st}k_d \leq R$, $\sigma_{st} = M_{stmax} / W_x$. Здесь M_{st} — значение наибольшего изгибающего момента от статической нагрузки.

4. ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Оценку своих знаний студент может проводить самостоятельно, ответив на вопросы и решив задачи контрольных заданий по модулю или по группе модулей.

Способ оценки знаний показан в табл.

Контрольные задания	Количество вопросов и задач	Количество правильных ответов на оценку		
		«отлично»	«хорошо»	«удовлетворительно»
Один модуль	10	8...9	6...7	5
Три модуля 2, 3, 8	30	24...27	18...23	15...17
Три модуля 9, 11, 12	30	24...27	18...23	15...17
Шесть модулей 2, 3, 8, 9, 11, 13	60	48...54	36...47	30...35
Модули 1...13	130	104...117	78...103	65...77

Библиографический список

1. *Андреев, В. И.* Техническая механика (для учащихся строительных вузов и факультетов) : учебник / В. И. Андреев, А. Г. Паушкин, А. Н. Леонтьев. — М. : АСВ, 2012. — 256 с.

2. *Михайлов, А. М.* Сопротивление материалов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. М. Михайлов. — М. : Издательский центр «Академия», 2009. — 448 с.

3. Сопротивление материалов : учебное пособие / [Н. А. Костенко, С. В. Балясникова, Ю. Э. Волошановская и др.] ; под ред. Н. А. Костенко. — 2-е изд., испр. — М. : Высш. шк., 2004. — 429 с.

4. *Копнов, В. А.* Сопротивление материалов. Руководство для решения задач и выполнения лабораторных и расчетно-графических работ / В. А. Копнов, С. Н. Кривошапка. — М. : Высш. шк., 2005. — 351 с.

5. Справочник по сопротивлению материалов / Е. Ф. Винокуров, М. К. Балыкин, И. А. Голубев и др. — М. : Наука и техника, 1988. — 464 с.

Учебное электронное издание

Беликов Георгий Иванович

**ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА.
СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.
Обучающие модули**

Учебное пособие

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*
Редакторы *О. А. Шипунова, М. Л. Песчаная*
Компьютерная правка и верстка *Н. А. Каширина*

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 01.10.2014.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,3. Объем данных 0,7 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru