

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

Г.В. МИШЕНКОВ, В.Г. МОСКВИН, В.Э. ЦОЙ, О.В. НОВИКОВА

**РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Методические указания к курсовому проектированию
по курсу «*Сопротивление материалов*»
для студентов, обучающихся по направлению
«Электроэнергетика и электротехника»

Москва
2021

Указания по выполнению и оформлению курсовой работы

Курсовая работа (КР) состоит из двух частей. Текстовая часть выполняется на листах формата А4. Все схемы и эпюры выполняются с соблюдением правил черчения. Вычисления проводятся по правилам приближенных вычислений.

При исправлении проверенной КР не разрешается стирать сделанные преподавателем замечания. Мелкие исправления проводятся в соответствующих местах КР. Крупные исправления выполняются на отдельных листах и подшиваются в текст.

Числовые данные для выданных схем расчета берутся из таблиц исходных данных (Приложение 2), приводятся в тексте задачи при изложении её решения и непосредственно на чертежах и рисунках в расчетно-пояснительной записке.

Выданные схемы задания подшиваются к соответствующей части КР. КР без схем не принимается.

ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТЫ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА ПРОЧНОСТЬ, ЖЕСТКОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ

1. Расчет ферменной конструкции перекрытия здания

Расчетная схема перекрытия здания принята в виде плоской фермы, изготовленной из стержней стандартного прокатного профиля.

1.1. Найти допустимое значение параметра нагрузки P с учетом возможной потери устойчивости сжатых стержней. Результаты представить в табличной форме.

Указания. Для сжатых стержней допустимое напряжение $[\sigma_k] = \varphi[\sigma]$, где $\varphi = \varphi(\lambda)$ – коэффициент продольного изгиба (находится по таблице 1.1).

Принять $[\sigma] = 160$ МПа.

**Таблица коэффициентов продольного изгиба
для сталей марок Ст.2, 3, 4.**

λ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
ϕ	1.00	0.99	0.96	0.94	0.92	0.89	0.86	0.81	0.75	0.69	0.60	0.52	0.45	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

2. Расчет стержневых элементов электротехнического оборудования при растяжении (сжатии)

Расчетная схема элемента конструкции представляет собой ступенчатый стержень, находящийся под воздействием осевых сил P и kP .

2.1. Найти значение параметра $P = P_0$, при котором зазор δ перекрывается. Построить эпюры продольной силы N_z , напряжений σ и осевых перемещений Δ при найденном значении P_0 .

2.2. При значении нагрузки $P = 2P_0$ раскрыть статическую неопределимость. Построить эпюры продольной силы N_z , напряжений σ и осевых перемещений Δ . Определить погрешность решения.

2.3. Определить температурные напряжения в стержне при $\Delta T = 30\text{K}$. Характер температурного нагружения (*нагрев* или *охлаждение*) назначить из условия сохранения статической неопределимости при перекрытии зазора δ .

2.4. Определить коэффициент запаса прочности n .

Указания. На схеме заштрихованная часть стержня является абсолютно жесткой.

Принять: $E = 200$ ГПа, $\sigma_T = 240$ МПа, $\alpha_T = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$

3. Расчет системы проводников

Расчетная схема проводников круглого поперечного сечения диаметром d рассматривается в виде системы стержней, изготовленных с отклонением от заданных размеров, причем начальный зазор δ значительно меньше характерных размеров стержней.

3.1. Найти *монтажные* силы и напряжения в проводниках после их сборки.

3.2. Вследствие нагрева проводников при прохождении по ним электрического тока найти *температурные* силы и напряжения в проводниках, обусловленные перепадом температуры ΔT .

3.3. Определить суммарные напряжения в проводниках и сделать вывод о прочности системы.

Принять: $\alpha_T = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $E = 200 \text{ ГПа}$, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

4. Расчет стержневых элементов электротехнического оборудования при кручении

Расчетная схема элемента конструкции представляет собой стержень переменного сечения, нагруженный крутящими моментами.

4.1. Построить эпюры крутящих моментов M_z , погонных углов закручивания θ и максимальных касательных напряжений τ_{max} по длине стержня.

4.2. Из расчетов на прочность и жесткость определить параметр d диаметра стержня. Построить эпюру касательных напряжений в опасном сечении стержня.

4.3. Построить эпюру углов закручивания ϕ по длине стержня. Определить погрешность решения.

Принять: $G = 80 \text{ ГПа}$, $[\tau] = 40 \text{ МПа}$.

5. Расчет пружин контактора

Механизм контактора электрического аппарата с рабочим ходом контакта δ_0 имеет в составе цилиндрические витые пружины.

5.1. Из условия прочности и условия срабатывания контактора при заданном индексе пружины χ подобрать параметры пружин: диаметр проволоки d , диаметр витка пружины D , требуемое число витков пружин n .

5.2. Для подобранных параметров пружин проверить:

- условие прочности;
- условие малости подъема витков: $h_0 = \frac{\delta}{n} + 1,1d < 0,5D$;
- условие устойчивости пружин: $H_0 = (1 + 1,1n)d + \delta < 2,5D$.

5.3. Рассчитать жесткость пружин: $c = \frac{G \cdot d^4}{8D^3 \cdot n}$.

Принять: $G = 80$ ГПа, $[\tau] = 200$ МПа. Пружины считать одинаковыми.

ЧАСТЬ 2. ИЗГИБ И СЛОЖНОЕ НАГРУЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

6. Расчет на изгиб токоведущей шины

Участок токоведущей шины рассматривается в виде балки с заданной формой поперечного сечения. Балка нагружена поперечной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q , сосредоточенными силами и моментами.

6.1. Определить положение центра тяжести и вычислить главные центральные моменты инерции J_x и J_y поперечного сечения балки.

6.2. Определить опорные реакции и построить эпюры Q_y и M_x .

6.3. Рассмотреть два варианта расположения поперечного сечения балки. Для каждого варианта в сечении балки с максимальным M_x построить эпюры нормальных напряжений σ по высоте поперечного сечения. Для рационально расположенного с точки зрения прочности поперечного сечения балки определить допустимое значение $[q]$ параметра нагрузки q из условия прочности при $[\sigma] = 160$ МПа

6.4. Определить угол поворота или прогиб выбранного сечения балки с помощью интеграла Максвелла-Мора при $q = [q]$.

Принять $E = 200$ ГПа.

7. Расчет плоской рамы

Несущий элемент электротехнической конструкции схематизируется в виде плоской рамы, изготовлен из стержней стандартного прокатного профиля и нагружен силой P .

7.1. Определить опорные реакции и построить эпюры продольной силы N_z , поперечной силы Q_y и изгибающего момента M_x как функции параметра внешней силы P .

7.2. Из расчетов на прочность по допускаемым напряжениям изгиба подобрать номер прокатного сечения рамы. Для выбранного профиля построить эпюру нормальных напряжений в опасном сечении рамы по высоте сечения.

7.3. Определить угол поворота или прогиб сечения k с помощью интеграла Максвелла-Мора.

Принять $E = 200$ ГПа, $[\sigma] = 160$ МПа.

8. Косой изгиб балок

Элемент электротехнической конструкции рассматривается в виде балки, нагруженной пространственной системой сил и испытывающей косой изгиб.

8.1. Определить опорные реакции и построить эпюры M_x , M_y и N_z .

8.2. Для опасного сечения построить эпюры нормальных напряжений. Определить коэффициент запаса прочности.

8.3. Рассмотреть случай круглого поперечного сечения балки. Из условия прочности по напряжениям изгиба вычислить диаметр круга d при $[n] = 1,5$.

Принять $\sigma_T = 240$ МПа.

9. Расчет промежуточного вала редуктора

9.1. Выбрать *расчетную схему* вала, определить действующие на вал нагрузки, реакции опор. Построить эпюры внутренних силовых факторов M_x , M_y , M_z .

9.2. Найти диаметр вала d по заданному критерию прочности без учета циклического изменения напряжений, приняв нормативный коэффициент запаса прочности $[n]$ в пределах $4 \leq [n] \leq 6$.

Полученный диаметр d округлить до ближайшего большего размера из ряда (в мм): 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 13,0; 14,0; 15,0; 16,0; 17,0; 18,0; 19,0; 20,0; 21,0; 22,0; 24,0; 25,0; 26,0; 28,0; 30,0; 32,0; 34,0; 36,0; 38,0; 40,0; 42,0; 45,0; 48,0; 50,0; 53,0; 56,0; 60,0; 63,0; 67,0; 71,0; 75,0; 80,0; 85,0; 90,0; 95,0; 100,0; большие размеры получаются умножением на 10.

9.3. Выполнить поверочный расчет вала с учетом изменения нормальных напряжений по симметричному циклу (касательные напряжения считать постоянными). Поверхность вала считать шлифованной ($K_F = 1$). Найденный коэффициент запаса прочности должен находиться в пределах $1,4 \leq n \leq 1,8$.

Указания: при проведении поверочного расчета использовать данные Приложения 3.

Контрольные вопросы по курсу «Сопротивление материалов»

1. Записать условия прочности для стержня кольцевого сечения: при растяжении; при кручении; при внецентренном сжатии; при прямом изгибе.
2. Записать условия жесткости для стержня прямоугольного поперечного сечения, жестко заземленного с одного края при его растяжении, изгибе.
3. Как вычислить изменения размеров стержня длиной L прямоугольного поперечного сечения (b, h) при его растяжении?
4. Как изменится продольная деформация и прочность сжатого стержня кругового сечения, если в нем просверлить центральное отверстие по всей длине $d_0 = 0,8 d$?
5. Как изменится прочность и жесткость стержня кругового сечения при его кручении, если в нем просверлить центральное отверстие $d_0 = 0,8 d$?
6. Как определить моменты инерции сложной фигуры, если её можно разбить на простейшие фигуры, моменты инерции которых легко определить по формулам или таблицам? Пример.
7. Чем отличается чистый изгиб от поперечного, прямой от косоугого? Привести примеры нагружения.
8. Привести рациональные формы поперечных сечений при изгибе балок из пластичного материала и из хрупкого материала и обосновать варианты. Записать для них условия прочности.

9. Где находится опасное сечение и опасная точка в консольной балке, испытывающей изгиб от силы собственного веса?
10. Как определить максимальный прогиб и максимальные напряжения в балке, опертой по краям от сил собственного веса?
11. При изгибе в какой из главных центральных плоскостей инерции балки двутаврового сечения ее прочность будет больше и во сколько раз?
12. При изгибе в какой из главных центральных плоскостей инерции балка с поперечным сечением швеллера будет иметь больший прогиб и во сколько раз?
13. Как определить силу, действующую на балку, если известен прогиб балки в точке приложения силы?
14. Как определить напряжения в опасных точках при косом изгибе балки прямоугольного сечения? Пример.
15. Как определить напряжения в опасных точках при совместном кручении и изгибе балки кругового сечения?
16. Записать условие прочности для стержня квадратного поперечного сечения, растянутого центральной силой и при внецентренном приложении сил в сечении стержня.
17. Что означает потеря устойчивости сжатого стержня?
18. Что такое критическая сила сжатого стержня, как ее вычислить?
19. Что такое гибкость стержня и предельная гибкость? От чего они зависят?
20. Как влияют жесткость поперечного сечения, длина стержня и условия его закрепления на критическую силу?
21. Как изменится критическая сила сжатого стержня кругового сечения d , если в нем просверлить отверстие $d_0 = 0,8 d$?
22. Сравнить гибкость стержня — консольного, жестко-защемленного с двух сторон, шарнирно-опертого по краям.
23. Как отличается критическая сила для шарнирно-опертого и жестко защемленного стержней?
24. Как изменится величина критической эйлеровой силы если: а) все размеры поперечного сечения увеличить в n раз; б) длину стержня увеличить в m раз?
25. Какой цикл нагружения является более опасным с точки зрения усталостной прочности? Как определяются параметры цикла: среднее напряжение, амплитудное напряжение, коэффициент асимметрии?
26. Дать определение предела выносливости материала. От каких характеристик цикла нагружения он зависит?

27. Понятие об усталостном разрушении материала. Какие факторы влияют на усталостную прочность материала? Какие мероприятия позволяют уменьшить влияние этих факторов?
28. Как проводится расчет на выносливость при одновременном действии нормальных и касательных напряжений?

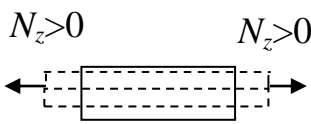
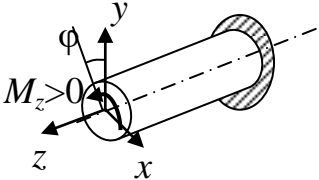
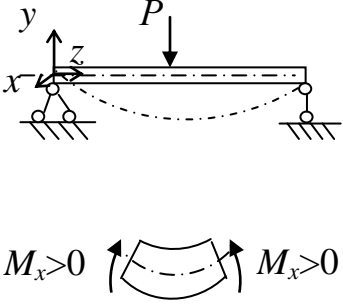
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

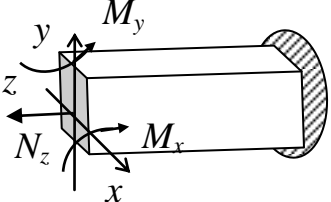
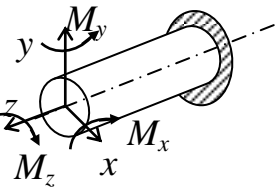
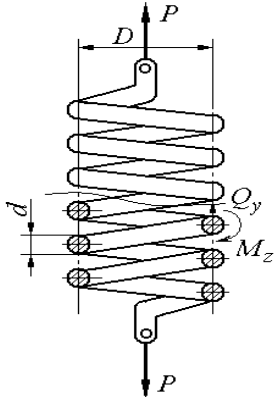

1. **Феодосьев, В. И.** Сопротивление материалов: учебник для вузов / В. И. Феодосьев ; – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000 . – 592 с. – (Механика в техническом университете ; Т.2) . - ISBN 5-7038-1453-6 : 80.00 .
2. **Хроматов В. Е.** Лекции по сопротивлению материалов в структурно-логических схемах: учебное пособие / В. Е. Хроматов, О. В. Новикова – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 260 с.
3. **Москвин, В. Г.** Сопротивление материалов. Примеры решения задач : практикум по курсу "Сопротивление материалов" по направлению 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / В. Г. Москвин, О. В. Новикова, С. А. Монин ; ред. В. Е. Хроматов ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2020 . – 80 с. - ISBN 978-5-7046-2327-4 .
4. **Ицкович, Г. М.** Сопротивление материалов. Руководство к решению задач. Часть 1 : учебное пособие для академического бакалавриата по инженерно-техническим направлениям / Г. М. Ицкович, Л. С. Минин, А. И. Винокуров ; ред. Л. С. Минин . – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2018 . – 318 с.
5. **Ицкович, Г. М.** Сопротивление материалов. Руководство к решению задач. Часть 2 : учебное пособие для академического бакалавриата по инженерно-техническим направлениям / Г. М. Ицкович, Л. С. Минин, А. И. Винокуров ; ред. Л. С. Минин . – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2018 . – 282 с.
6. **Минин Л.С.** Сопротивление материалов. Расчетные и тестовые задания: учеб. пособие для академического вузов по инженерно-техническим направлениям, по дисциплине "Сопротивление материалов" / Л. С. Минин, Ю. П. Самсонов, В. Е. Хроматов ; ред. В. Е. Хроматов . – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2018 . – 224 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-534-04328-0 .

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Вид деформации стержня	Напряжения, условие прочности	Деформация, условие жесткости
 <p style="text-align: center;">$N_z > 0$ $N_z > 0$</p>	$\sigma_{\max} = \frac{N_z}{F} \leq [\sigma]$	$\Delta l = \frac{N_z l}{EF},$ $\varepsilon = \frac{N_z}{EF} \leq [\varepsilon]$
 <p style="text-align: center;">$M_z > 0$</p>	$\tau = \frac{M_z}{I_p} r$ $\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p} \leq [\tau]$ $I_p = \frac{\pi d^4}{32}, W_p = \frac{\pi d^3}{16}$	$\varphi = \frac{M_z l}{GI_p},$ $\theta = \frac{M_z}{GI_p} \leq [\theta]$
 <p style="text-align: center;">$M_x > 0$ $M_x > 0$</p>	$\sigma = -\frac{M_x}{I_x} y$ $\sigma_{\max} = \left -\frac{M_x}{I_x} y_{\max} \right =$ $= \left \frac{M_x}{W_x} \right \leq [\sigma]$	$\Delta_k = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{1k}}{EI_x} dz$
<p>Формула Симпсона для вычисления</p> <p>интеграла Максвелла-Мора $\Delta_k = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{1k}}{EI_x} dz =$</p> $= \frac{l}{6EI_x} \left[M_x(0) \cdot \bar{M}_{1k}(0) + 4M_x\left(\frac{l}{2}\right) \cdot \bar{M}_{1k}\left(\frac{l}{2}\right) + M_x(l) \cdot \bar{M}_{1k}(l) \right]$		

	$\sigma = \sigma_{N_z} + \sigma_{M_x} + \sigma_{M_y} =$ $= \frac{N_z}{F} - \frac{M_x}{I_x} y - \frac{M_y}{I_y} x$	$\Delta_{ky} = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{kx}}{EI_x} dz$
	$\sigma_{M_{\text{экв}}} = \frac{M_{\text{экв}}}{W_{\text{изг}}} =$ $= \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}}{\pi d^3 / 32}$	$\Delta_{kx} = \int_0^l \frac{M_y \bar{M}_{ky}}{EI_y} dz$
	$\tau_{\max} = \frac{8PD}{\pi d^3} \leq [\tau]$	$\delta = \frac{8PD^3 n}{Gd^4}$
	$P_{кр} = \begin{cases} P_{\text{э}} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2}, & \text{при } \lambda_{\max} > \lambda_{\text{пред}} \text{ (стержни} \\ & \text{большой гибкости)} \\ P_{\text{я}} = (a - b\lambda_{\max}) & \text{при } \lambda_* < \lambda < \lambda_{\text{пред}} \\ & \text{(стержни средней} \\ & \text{гибкости)} \\ P_{\text{Т}} = \sigma_{\text{T}} F, & \text{при } \lambda < \lambda_* \text{ (стержни} \\ & \text{малой гибкости)} \end{cases}$ <p>где $\lambda_{\max} = \mu l / i_{\min}$, $\lambda_{\text{пред}} = \pi \sqrt{E / \sigma_{\text{тл}}}$, $\lambda_* = (a - \sigma_{\text{T}}) / b$</p>	

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЗАДАЧАМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Данные к задаче №1				
№ варианта	a , м	b , м	c , м	Прокатный профиль
1	2,0	1,8	2,5	Швеллер № 22
2	2,0	2,4	1,8	Двутавр № 18
3	1,8	2,0	1,6	Швеллер № 18
4	2,0	1,7	1,5	Двутавр № 10
5	1,5	2,2	2,5	Швеллер № 18
6	1,8	2,0	2,0	Двутавр № 20
7	1,4	1,7	1,6	Швеллер № 22
8	1,8	2,0	1,8	Двутавр № 10
9	2,0	1,1	1,6	Швеллер № 20
10	1,5	1,8	2,0	Двутавр № 30
11	1,4	1,5	2,0	Швеллер № 28
12	1,6	2,0	1,5	Двутавр № 20
13	1,8	1,5	2,0	Швеллер № 40
14	2,0	1,7	1,6	Двутавр № 28
15	1,5	2,8	1,5	Швеллер № 30
16	2,0	2,0	2,2	Двутавр № 30
17	2,0	1,8	1,8	Швеллер № 20
18	1,1	2,2	1,6	Двутавр № 29
19	2,0	2,4	1,8	Швеллер № 39
20	1,0	1,8	1,5	Двутавр № 16
21	1,4	2,4	2,8	Швеллер № 18
22	1,9	2,0	2,3	Двутавр № 14
23	1,7	1,0	1,7	Швеллер № 12
24	1,9	2,7	1,7	Двутавр № 10
25	2,2	2,6	1,9	Швеллер № 28
26	1,8	2,8	1,9	Двутавр № 30
27	1,7	2,4	2,0	Швеллер № 18
28	1,3	1,6	1,6	Двутавр № 14
29	1,5	1,9	1,8	Швеллер № 39
30	1,4	2,0	1,7	Двутавр № 28

Данные к задаче №2						
№ варианта	l_1 , см	l_2 , см	F_1 , см ²	F_2 , см ²	δ , мм	k
1	45	30	45	30	0,08	1,5
2	52	28	12	21	0,09	1,3
3	50	50	15	25	0,1	1,5
4	42	60	13	27	0,05	1,7
5	5	50	10	25	0,08	2,0
6	60	60	12	21	0,07	1,4
7	72	45	18	32	0,1	1,1
8	48	32	12	20	0,08	2,0
9	70	35	14	27	0,09	2,1
10	44	70	12	22	0,01	1,5
11	40	62	12	20	0,08	1,7
12	38	45	10	20	0,09	1,4
13	45	40	8	18	0,08	1,5
14	50	60	10	24	0,01	2,4
15	40	35	12	20	0,07	2,3
16	35	45	15	24	0,011	2,5
17	39	62	13	21	0,08	2,3
18	70	43	20	28	0,08	1,4
19	45	55	10	20	0,08	1,3
20	50	35	14	24	0,07	1,7
21	65	38	10	35	0,012	1,3
22	75	75	18	30	0,011	1,4
23	50	42	14	27	0,013	1,3
24	70	50	15	24	0,011	1,3
25	52	47	13	21	0,07	1,7
26	48	45	14	32	0,02	1,2
27	12	26	9	33	0,014	2,2
28	75	51	12	21	0,05	1,8
29	34	38	17	31	0,07	1,8
30	44	62	34	23	0,01	2,2

Данные к задаче №3						
№ варианта	ΔT , град	F , см ²	δ , см	a , м	l , м	k
1	-20	28	0,1	1	2	2
2	30	35	0,05	0,5	3	1,2
3	40	30	0,1	1,5	2,5	0,75
4	60	22	0,12	2	1,8	1
5	70	30	0,15	1,25	2	0,5
6	30	40	0,05	0,75	2	1,25
7	-60	36	0,08	0,5	1	2
8	-80	27	0,2	0,6	1,5	1,5
9	100	25	0,05	1,5	1	1
10	30	20	0,08	0,5	3	1,5
11	40	26	0,06	2	2,5	2
12	50	24	0,09	0,7	2	1,2
13	-70	27	0,07	0,75	1,5	0,75
14	-60	24	0,1	0,5	1,9	1,25
15	50	28	0,15	1,25	2	1,5
16	40	22	0,1	1,5	1,7	1,25
17	30	26	0,08	1	1,9	2
18	-80	32	0,06	0,5	2,3	1,5
19	-40	29	0,15	0,75	2,5	1,75
20	30	26	0,2	0,6	2,8	1,6
21	45	25	0,25	0,7	3	1,5
22	50	29	0,3	1,25	2	1,55
23	75	23	0,07	1,5	2,5	2
24	80	28	0,1	1	2,6	1,5
25	100	22	0,15	0,5	3	1,75
26	35	34	0,14	1	2	1,4
27	40	30	0,1	1,5	2,5	0,75
28	60	22	0,12	2	1,8	1
29	70	30	0,15	1,25	2	0,5
30	30	40	0,05	0,75	2	1,25

Данные к задаче №4					
№ варианта	m , кН·м	a , м	γ	β	$[\theta]$, рад/м
1	10	1,0	1,9	0,80	0,010
2	15	0,7	1,1	0,70	0,015
3	12	0,5	1,2	0,80	0,020
4	13	0,9	1,3	0,72	0,025
5	18	0,8	1,4	0,92	0,030
6	20	1,0	1,5	0,82	0,035
7	19	0,8	1,6	0,84	0,040
8	18	0,6	1,7	0,74	0,045
9	10	0,7	1,8	0,85	0,050
10	11	0,9	1,9	0,75	0,035
11	14	0,7	2,0	0,70	0,030
12	16	0,6	0,9	0,80	0,040
13	18	1,1	0,8	0,75	0,025
14	17	1,0	0,7	0,85	0,020
15	15	0,9	0,6	0,95	0,015
16	20	0,8	0,5	0,78	0,010
17	18	0,7	1,8	0,70	0,030
18	17	0,6	1,1	0,72	0,040
19	14	1,1	1,2	0,75	0,035
20	13	1,0	1,3	0,80	0,020
21	12	0,5	1,0	0,90	0,040
22	15	0,6	1,5	0,85	0,020
23	20	0,8	2,0	0,80	0,030
24	18	0,9	1,8	0,75	0,040
25	20	1,2	1,0	0,70	0,045
26	18	1,3	1,7	0,65	0,035
27	18	1,0	1,5	0,82	0,035
28	15	0,8	1,6	0,84	0,040
29	16	0,6	1,7	0,74	0,045
30	20	0,7	1,8	0,85	0,050

Данные к задаче №5			
№ варианта	$P, Н$	$\delta_0, мм$	Индекс пружины χ
1	60	4	8
2	65	2	12
3	70	2,5	11
4	75	3	10
5	80	3,6	9
6	75	4	8
7	70	4,5	7
8	65	5	6
9	60	5,5	7
10	55	6	8
11	50	5,5	9
12	45	5	10
13	40	4,5	11
14	45	4	12
15	50	3,5	11
16	55	3	10
17	60	2,5	9
18	65	2	8
19	70	2,5	7
20	75	3	6
21	80	3,5	7
22	75	4	8
23	70	4,5	9
24	65	5	10
25	55	3	7
26	70	6	9
27	50	4,5	10
28	75	4	8
29	75	5	8
30	60	6	12

Данные к задачам №6,7			
№ варианта	a , м	γ	P , кН (для задачи №7)
1	2	1,9	210
2	1	1,1	100
3	1,5	1,2	150
4	2	1,3	220
5	2,5	1,4	245
6	2	1,5	200
7	2,5	1,6	215
8	2	1,7	230
9	2,5	1,8	205
10	2	1,9	210
11	1,2	2	120
12	1,4	0,9	140
13	1,6	0,8	160
14	1,8	0,6	180
15	2	0,7	200
16	2,2	0,5	220
17	2,4	1,8	240
18	2,6	1,4	265
19	2,8	1,1	225
20	2,7	1,2	245
21	1,6	1	160
22	2	1,5	210
23	2,5	2	205
24	1,5	1,8	150
25	2,5	1	255
26	1,3	2	220
27	1,5	1,2	150
28	2	1,3	220
29	2,5	1,4	245
30	2	1,5	200

Данные к задаче №8							
№ варианта	Форма сечения		P, кН	α	l, м	c	k
	Двутавр	Прямоугольник $b = \alpha \cdot h$, см					
1	-	16	140	0,50	3	0,3	2
2	22	-	160	0,60	4	0,4	3
3	-	12	170	0,70	2	0,2	2
4	20	-	120	0,80	3	0,5	2
5	-	10	140	0,75	4	0,3	3
6	30	-	160	0,50	3	0,2	2
7	-	16	120	0,65	2	0,5	3
8	24	-	170	0,60	3	0,3	3
9	-	12	150	0,70	3	0,4	2
10	27	-	140	0,85	2	0,2	3
11	-	18	160	0,70	4	0,5	2
12	22	-	170	0,65	3	0,4	3
13	-	10	130	0,70	2	0,2	2
14	24	-	120	0,60	3	0,6	3
15	-	16	170	0,55	4	0,3	3
16	20	-	140	0,50	3	0,2	2
17	-	18	130	0,45	2	0,4	2
18	30	-	150	0,70	2	0,5	3
19	-	12	160	0,80	4	0,3	2
20	24	-	120	0,65	3	0,4	3
21	-	18	170	0,75	2	0,2	3
22	20	-	160	0,80	3	0,5	2
23	-	12	140	0,50	4	0,3	2
24	22	-	150	0,60	3	0,4	3
25	-	16	120	0,70	2	0,5	3
26	18	-	180	0,40	3	0,7	2
27	-	12	170	0,70	2	0,2	2
28	20	-	120	0,80	3	0,5	2
29	-	10	140	0,75	4	0,3	3
30	30	-	160	0,50	3	0,2	2

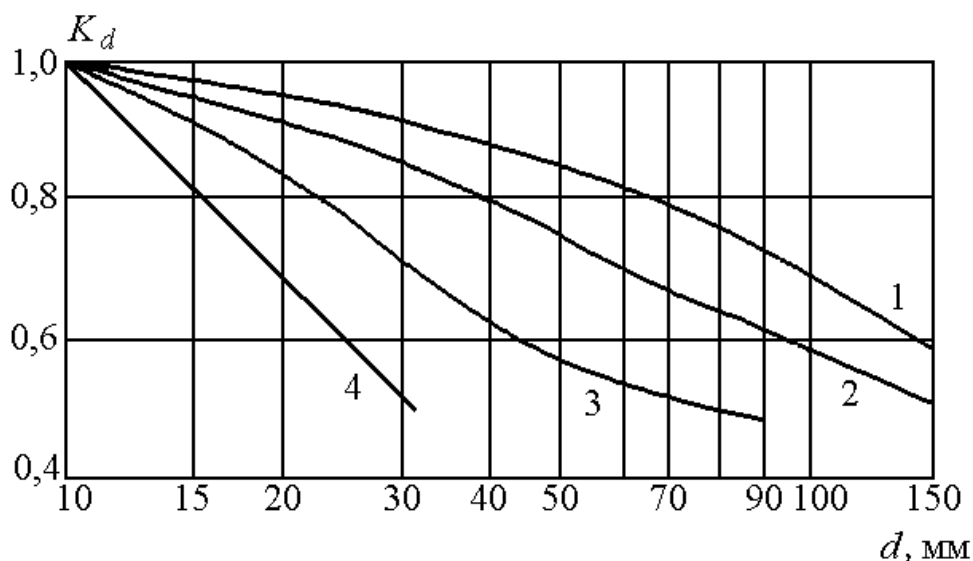
Данные к задаче №9								
№ варианта	N, кВт	n, об/мин	Сталь марки	Критерий прочности	γ	a, м	D ₁ , м	D ₂ , м
1	10	100	10	Сен-Венана	0,5	1,1	0,20	0,35
2	20	200	20	Мизеса	0,6	0,7	0,30	0,40
3	15	250	30	Сен-Венана	0,7	1,3	0,25	0,20
4	14	150	35	Мизеса	0,8	0,8	0,35	0,25
5	16	200	40	Сен-Венана	1,2	0,9	0,25	0,35
6	12	250	45	Мизеса	1,4	1,4	0,30	0,30
7	18	300	50	Сен-Венана	1,5	1,0	0,40	0,40
8	20	400	60	Мизеса	1,6	1,1	0,35	0,45
9	10	200	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,40	0,20
10	17	100	30	Мизеса	0,8	1,6	0,20	0,30
11	15	160	35	Сен-Венана	0,5	1,7	0,25	0,25
12	13	180	50	Мизеса	1,0	1,2	0,35	0,35
13	18	250	45	Сен-Венана	1,5	1,4	0,30	0,30
14	14	200	30	Мизеса	1,4	1,6	0,40	0,40
15	20	300	10	Сен-Венана	1,2	1,3	0,45	0,45
16	14	100	20	Мизеса	0,5	1,5	0,20	0,20
17	16	150	30	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
18	10	300	35	Мизеса	1,4	1,0	0,30	0,30
19	20	200	40	Сен-Венана	1,2	1,6	0,35	0,35
20	25	150	45	Мизеса	1,1	1,4	0,40	0,40
21	15	300	50	Сен-Венана	0,7	1,5	0,45	0,45
22	22	200	30	Мизеса	0,8	1,3	0,35	0,35
23	24	400	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
24	17	300	40	Мизеса	0,9	1,1	0,20	0,20
25	19	300	45	Сен-Венана	1,4	1,0	0,30	0,30
26	13	350	30	Мизеса	1,5	1,2	0,4	0,6

Справочные данные к решению задач

Эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ в месте шпоночной канавки при изгибе валов

Поверхность вала	K_σ при значении $\sigma_{пч}$, МПа						
	400	500	600	700	800	900	1000
Шлифованная	1,75	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7

Зависимость коэффициента влияния абсолютных размеров сечения K_d в зависимости от диаметра детали.



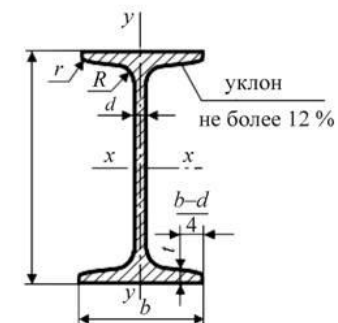
Кривые построены для следующих случаев:

1 - углеродистая сталь при отсутствии концентрации напряжений; 2 - легированная сталь при отсутствии концентрации напряжений, сталь при умеренной концентрации напряжений; 3 - легированная сталь при умеренной концентрации напряжений; 4 - сталь при высокой концентрации напряжений.

Механические характеристики стали

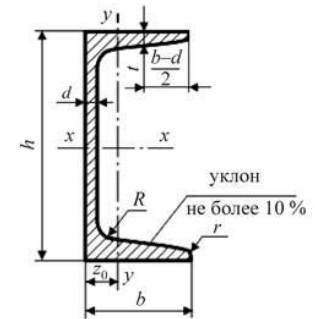
Марка стали	$\sigma_{пч}$, МПа	σ_T , МПа	Изгиб, МПа		Растяжение, МПа		Кручение, МПа		
			σ_{-1}	σ_0	σ_{-1}	σ_0	τ_T	τ_{-1}	τ_0
10	340	210	160	210	120	170	125	80	100
20	420	250	170	250	120	210	120	100	130
30	500	300	200	300	170	250	185	110	150
35	540	320	220	320	170	270	195	130	160
40	580	340	230	340	180	290	210	140	170
45	610	360	250	360	190	300	225	150	180
50	640	380	270	380	200	320	240	160	190
60	690	410	310	410	220	340	-	180	210

Сталь горячекатаная
Балки двутавровые
ГОСТ 8239–89



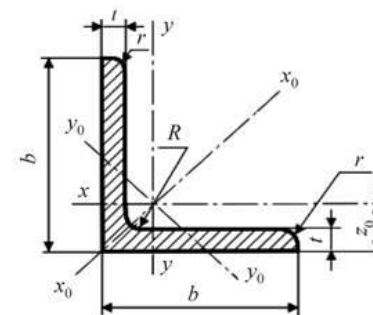
Номер балки	h	b	d	t	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей						
							x – x				y – y		
							I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	19,90	1430	159,0	7,51	89,8	114,0	22,80	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	22,70	2030	203,0	8,37	114,0	155,0	28,20	2,32
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	25,80	2790	254,0	9,22	143,0	206,0	34,30	2,50
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	29,40	3800	317,0	10,10	178,0	260,0	41,60	2,63
27	270	125	6,0	9,8	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	33,90	5500	407,0	11,30	229,0	337,0	50,00	2,80
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	39,20	7780	518,0	12,50	292,0	436,0	60,10	2,95
33	330	140	7,0	11,2	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,98
40	400	155	8,3	13,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54
65	650	200	12,0	19,2	153,0	120,00	101400	3120,0	25,8	1800,0	2170,0	217,00	3,77
70	700	210	13,0	20,8	176,0	138,00	134600	3840,0	27,7	2230,0	2730,0	260,00	3,94
70a	700	210	15,0	24,0	202,0	158,00	152700	4360,0	27,5	2550,0	3240,0	309,00	4,01
706	700	210	17,5	28,2	234,0	184,00	175370	5010,0	27,4	2940,0	3910,0	373,00	4,09

Сталь горячекатаная
Швеллеры
ГОСТ 8240–97



Номер балки	h	b	d	t	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей						z ₀ , см	
							x – x				y – y			
							I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³		i _y , см
5	50	32	4,4	7,0	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,080	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,30	12,80	4,75	1,190	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,8	45,4	11,00	1,70	1,67
14a	140	62	4,9	8,7	17,00	13,30	545,0	77,8	5,66	45,1	57,5	13,30	1,84	1,87
16	160	64	5,0	8,4	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	63,3	13,80	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,4	78,8	16,40	2,01	2,00
18	180	70	5,1	9,7	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,8	86,0	17,00	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,1	105,0	20,00	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,0	20,50	2,20	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	25,20	19,80	1670,0	167,0	8,15	95,9	139,0	24,20	2,35	2,28
22	220	82	5,4	9,5	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,0	151,0	25,10	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	10,2	28,80	22,60	2330,0	212,0	8,99	121,0	187,0	30,00	2,55	2,46
24	240	90	5,6	10,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,0	208,0	31,60	2,60	2,42
24a	240	95	5,6	10,7	32,90	25,80	3180,0	265,0	9,84	151,0	254,0	37,20	2,79	2,67
27	270	95	6,0	10,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,0	262,0	37,30	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,0	327,0	43,60	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,0	410,0	51,80	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,0	513,0	61,70	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,0	642,0	73,40	3,23	2,75

Сталь прокатная
Угловая равнополочная
ГОСТ 8509–93



Номер уголка	b	t	R	r	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м уголка, кг	Справочные величины для осей									
							x – x			x ₀ – x ₀		y ₀ – y ₀			I _{xy} , см ⁴	z ₀ , см
							I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0max} , см ⁴	i _{x0max} , см	I _{y0min} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0min} , см		
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,89	0,40	0,28	0,59	0,63	0,75	0,17	0,20	0,39	0,23	0,60
		4			1,46	1,15	0,50	0,37	0,58	0,78	0,73	0,22	0,24	0,38	0,28	0,64
2,5	25	3	4,0	1,3	1,43	1,12	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,33	0,49	0,47	0,73
		4			1,86	1,46	1,03	4,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	0,48	0,59	0,76
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,27	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	0,55	0,68	0,80
3	30	3	4,0	1,3	1,74	1,36	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85	0,85
		4			2,27	1,78	1,84	0,87	0,80	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	1,08	0,89
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,46	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	0,63	1,03	0,89
		4			2,43	1,91	2,26	1,0	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,62	1,32	0,94
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04	1,60	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	1,37	0,97
		4			2,17	2,10	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,75	1,01
		5			3,28	2,58	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	2,10	1,05
4	40	3	5,0	1,7	2,35	1,85	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	2,08	1,09
		4			3,08	2,42	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	2,68	1,13
		5			3,79	2,98	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	3,22	1,17
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	2,08	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	3,00	1,21
		4			3,48	2,73	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	3,89	1,26
		5			4,29	3,37	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	4,71	1,30
5	50	3	5,5	1,8	2,96	2,32	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33
		4			3,89	3,05	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38
		5			4,80	3,77	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42
		6			5,69	4,47	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	3,44	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52
		5			5,41	4,25	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57

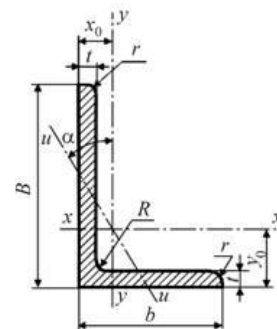
6	60	4	7,0	2,3	4,72	3,71	16,21	3,70	1,85	25,69	2,33	6,72	2,93	1,19	9,48	1,62
		5			5,83	4,58	19,79	4,56	1,84	31,40	2,32	8,18	3,49	1,18	11,61	1,66
		6			6,92	5,43	23,21	5,40	1,83	36,81	2,31	9,60	3,99	1,18	3,60	1,70
		8			9,04	7,10	29,55	7,00	1,81	46,77	2,27	12,34	4,90	1,17	17,22	1,78
		10			11,08	8,70	35,32	8,52	1,79	55,64	2,24	15,00	5,70	1,16	20,32	1,85
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	3,90	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69
		5			6,13	4,81	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74
		6			7,28	5,72	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78
7	70	4,5	8	2,7	6,20	4,87	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,00	1,88
		5			6,86	5,38	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90
		6			8,15	6,39	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94
		7			9,42	7,39	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99
		8			10,67	8,37	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,20	2,02
7,5	75	5	9	3	7,39	5,80	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02
		6			8,78	6,89	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06
		7			10,15	7,96	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10
		8			11,50	9,02	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15
		9			12,83	10,07	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18
8	80	5,5	9	3	8,63	6,78	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,90	2,17
		6			9,38	7,36	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19
		7			10,85	8,51	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23
		8			12,30	9,65	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27
9	90	6	10	3,3	10,61	8,33	82,10	12,40	2,78	130,00	3,50	33,87	9,88	1,79	48,10	2,43
		7			12,28	9,64	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47
		8			13,93	10,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51
		9			15,60	12,20	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55
10	100	6,5	12	4	12,82	10,06	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,68
		7			13,75	10,79	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71
		8			15,60	12,25	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75
		10			19,24	15,10	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83
		12			22,80	17,90	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91
		14			26,28	20,63	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99
		16			29,68	23,30	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,06
11	110	7	12	4	15,15	11,89	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96
		8			17,20	13,50	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00
12	120	8	12	4	18,80	14,76	259,75	29,68	3,72	412,45	4,68	107,04	23,29	2,39	153,00	3,25
		9			23,24	18,24	317,16	36,59	3,69	503,79	4,66	130,54	27,72	2,37	187,00	3,33
		10			27,60	21,67	371,80	43,30	3,67	590,28	4,62	153,33	31,79	2,36	218,00	3,41
		15			33,99	26,68	448,90	52,96	3,63	711,32	4,57	186,48	37,35	2,34	262,00	3,53

12,5	125	8	14	4,6	19,69	15,46	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36
		9			22,0	17,30	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40
		10			24,33	19,10	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45
		12			28,89	22,68	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53
		14			33,37	26,20	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61
		16			37,77	29,65	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68
14	140	9	14	4,6	24,72	19,41	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,78
		10			27,33	21,45	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,82
		12			32,49	25,50	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90
15	150	10	14	4,6	29,33	23,02	634,76	58,07	4,65	1008,56	5,86	260,97	45,34	2,98	374,00	4,07
		12			34,89	27,39	747,48	68,90	4,63	1187,86	5,83	307,09	52,32	2,97	440,00	4,15
		15			43,08	33,82	908,38	84,66	4,59	1442,60	5,79	374,17	61,96	2,95	534,00	4,27
		18			51,09	40,11	1060,08	99,86	4,56	1680,92	5,74	438,24	70,91	2,93	621,00	4,38
16	160	10	16	5,3	31,43	24,67	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,38	52,52	3,19	455,00	4,30
		11			34,42	27,02	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35
		12			37,39	28,35	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	357,78	60,53	3,17	537,00	4,39
		14			43,57	33,97	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,47
		16			49,07	38,52	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55
		18			54,79	43,01	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63
		20			60,40	47,44	1418,85	125,60	4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70
18	180	11	16	5,3	38,80	30,47	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85
		12			42,19	33,12	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89
20	200	12	18	6,0	47,10	36,97	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68	3,99	1073,00	5,37
		13			50,85	39,92	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,00	5,42
		14			54,60	42,80	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50	3,97	1236,00	5,46
		16			61,98	48,65	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,00	5,54
		20			76,54	60,08	2871,47	200,73	6,12	4560,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,00	5,70
		25			94,29	74,02	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,00	5,89
		30			111,54	87,56	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	2332,00	6,07
22	220	14	21	7,0	60,38	47,40	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,62	4,38	1655,00	5,91
		16			68,58	53,83	3175,44	198,71	6,80	5045,37	8,58	1305,52	153,34	4,36	1869,00	6,02
25	250	16	24	8,0	78,40	61,55	4717,10	258,43	7,76	7492,10	9,78	1942,09	203,45	4,98	2775,00	6,75
		18			87,72	68,86	5247,24	288,82	7,73	8336,69	9,75	2157,78	233,39	4,96	3089,00	6,83
		20			96,96	76,11	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52	4,94	3395,00	6,91
		22			106,12	83,31	6270,32	348,26	7,09	9961,60	9,69	2579,04	260,52	4,93	3691,00	7,00
		25			119,71	93,97	7006,39	391,72	7,65	11125,52	9,64	2887,26	287,14	4,91	4119,00	7,11
		28			133,12	104,50	7716,86	434,25	7,61	12243,84	9,59	3189,89	311,98	4,90	4527,00	7,23
		30			141,96	111,44	8176,52	462,11	7,59	12964,66	9,56	3388,98	327,82	4,89	4788,00	7,31

Сталь прокатная

Угловая неравнополочная

ГОСТ 8510–86



Номер уголка	B	b	t	R	r	Площадь попереч- ного сечения, см ²	Масса 1 м уголка, кг	Справочные величины для осей									x ₀ , см	y ₀ , см	I _{xy} , см ⁴	tg α
								x – x			y – y			y ₀ – y ₀						
								I _x ,	W _x ,	i _x ,	I _y ,	W _y ,	i _y ,	I _{u min} ,	W _u ,	i _{u min}				
								см ⁴	см ³	см	см ⁴	см ³	см	см ⁴	см ³	см				
4,5/2,8	45	28	3	5,0	1,7	2,14	1,68	4,41	1,45	1,48	1,32	0,61	0,79	0,79	0,52	0,61	0,64	1,47	1,38	0,382
			4			2,80	2,20	5,68	1,90	1,42	1,69	0,80	0,78	1,02	0,67	0,60	0,68	1,51	1,77	0,379
5/3,2	50	32	3	5,5	1,8	2,42	1,9	6,18	1,82	1,60	1,99	0,81	0,91	1,18	0,68	0,70	0,72	1,60	2,01	0,403
			4			3,17	2,4	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,90	1,52	0,88	0,69	0,76	1,65	2,59	0,401
5,6/3,6	56	36	4	6,0	2,0	3,58	2,81	11,37	3,01	1,78	3,70	1,34	1,02	2,19	1,13	0,78	0,84	1,82	3,74	0,406
			5			4,41	3,46	13,82	3,70	1,77	4,48	1,65	1,01	2,6	1,37	0,78	0,88	1,87	4,50	0,404
6,3/4,0	63	40	4	7,0	2,3	4,04	3,17	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	3,07	1,41	0,87	0,91	2,03	5,25	0,397
			5			4,98	3,91	19,91	4,72	2,00	6,26	2,05	1,12	3,73	1,72	0,86	0,95	2,08	6,41	0,396
			6			5,90	4,63	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	4,36	2,02	0,86	0,99	2,12	7,44	0,393
			8			7,68	6,06	29,60	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	5,585	2,60	0,85	1,07	2,20	9,27	0,386
7/4,5	70	45	5	7,5	2,5	5,59	4,39	27,76	5,88	2,23	9,05	2,62	1,27	5,34	2,20	0,98	1,05	2,28	9,12	0,406
			6			6,11	4,79	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	7,24	2,73	1,09	1,17	2,39	12,00	0,436
			8			7,25	5,69	40,92	8,08	2,38	14,60	3,85	1,42	8,48	3,21	1,08	1,21	2,44	14,10	0,435
8/5	80	50	5	8,0	2,7	6,36	4,49	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	7,57	2,75	1,00	1,13	2,60	13,20	0,387
			6			7,55	5,92	48,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,40	8,88	3,24	1,08	1,17	2,65	15,50	0,386
			8			8,15	6,39	52,06	9,42	2,53	25,18	5,58	1,76	13,61	4,66	1,29	1,49	2,47	20,98	0,547
9/5,6	90	56	5,5	9,0	3,0	7,86	6,17	65,28	10,74	2,88	19,67	4,53	1,58	11,77	3,81	1,22	1,26	2,92	20,54	0,384
			6			8,54	6,70	70,58	11,66	2,88	21,22	4,91	1,58	12,70	4,12	1,22	1,28	2,95	22,23	0,384
			8			11,18	8,77	90,87	15,24	2,85	27,08	6,39	1,56	16,29	5,32	1,21	1,36	3,04	28,33	0,380
10/6,3	100	63	6	10,0	3,3	9,58	7,53	98,29	14,52	3,20	30,58	6,27	1,79	18,20	5,27	1,38	1,42	3,23	31,50	0,393
			7			11,09	8,70	112,86	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	20,83	6,06	1,37	1,46	3,28	36,10	0,392
			8			12,57	9,87	126,96	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	23,38	6,82	1,36	1,50	3,32	40,50	0,391
			10			15,47	12,14	153,95	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	28,34	8,31	1,35	1,58	3,40	48,60	0,387

11/7	110	70	6,5	10,0	3,3	11,45	8,98	142,42	19,11	3,53	45,61	8,42	2,00	26,94	7,05	1,53	1,58	3,55	46,80	0,402
			8			13,93	10,93	171,54	23,22	3,51	54,64	10,20	1,98	32,31	8,50	1,52	1,64	3,61	55,90	0,400
12,5/8	125	80	7	11,0	3,7	14,06	11,04	226,53	26,67	4,01	73,73	11,89	2,29	43,40	9,96	1,76	1,80	4,01	74,70	0,407
			8			15,98	12,58	225,98	30,26	4,00	80,95	13,47	2,28	48,82	11,25	1,75	1,84	4,05	84,10	0,406
			10			19,70	15,47	311,61	37,27	3,98	100,47	16,52	2,26	59,33	13,74	1,74	1,92	4,14	102,00	0,404
			12			23,36	18,34	364,79	44,07	3,95	116,84	19,46	2,24	69,47	16,11	1,72	2,00	4,22	118,00	0,400
14/9	140	90	8	12,0	4,0	18,00	14,13	363,68	38,25	4,49	119,79	17,19	2,58	70,27	14,39	1,58	2,03	4,49	121,00	0,411
			10			22,24	17,46	444,45	47,19	4,47	145,54	21,14	2,58	85,51	17,58	1,96	2,12	4,58	147,00	0,409
16/10	160	100	9	13,0	4,3	22,87	17,96	605,97	56,04	5,15	186,03	23,96	2,85	110,40	20,01	2,20	2,24	5,19	194,00	0,391
			10			25,28	19,85	666,59	61,91	5,13	204,09	26,42	2,84	121,16	22,02	2,19	2,28	5,23	213,00	0,390
			12			30,04	23,58	784,22	73,42	5,11	238,75	31,23	2,82	142,14	25,93	2,18	2,36	5,32	249,00	0,388
			14			34,72	27,26	897,19	84,65	5,08	271,60	35,89	2,80	162,49	29,75	2,16	2,43	5,40	282,00	0,385
18/11	180	110	10	14	4,7	28,33	22,20	952,28	78,59	5,80	276,37	32,27	3,12	165,44	26,96	2,42	2,44	5,88	295,00	0,376
			12			33,69	26,40	1122,56	93,33	5,77	324,09	38,20	3,10	194,28	31,83	2,40	2,52	5,97	348,00	0,374
20/12,5	200	125	11	14,0	4,7	34,87	27,37	1449,02	107,31	6,45	446,36	45,98	3,58	263,84	38,27	2,75	2,79	6,50	465,00	0,392
			12			37,89	29,74	1568,19	116,51	6,43	481,93	49,85	3,57	285,04	41,45	2,74	2,83	6,54	503,00	0,392
			14			43,87	34,43	1800,83	134,64	6,41	550,77	57,43	3,54	326,54	47,57	2,73	2,91	6,62	575,00	0,390
			16			49,77	39,07	2026,08	152,41	6,38	616,66	64,83	3,52	366,99	53,56	2,72	2,99	6,71	643,00	0,388

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАЧЕ №1

После определения (любым способом) усилий N_k в стержнях фермы в зависимости от определяемого параметра нагрузки P дальнейшее решение удобно представить в табличной форме. Пример такого представления приведен в таблице.

Пример заполнения таблицы к задаче №1

k	l_k , м	N_k	Характер нагружения стержня	λ_k	φ_k	$[\sigma_k]$, МПа	P_k , кН	σ_k при $P = [P]$, МПа	η_k , %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	4,0	$4P$	раст.	-	1,0	160	83,2	29,7	81,6
2	4,12	$-4,12P$	сж.	199	0,19	30,5	15,3	-30,3	0
3	1,0	$-2P$	сж.	48	0,9	144	150	-14,7	89,8
4	2,24	$4,48P$	раст.	-	1,0	160	74,3	33,0	79,4
5	2,0	$-4P$	сж.	96	0,64	102,4	53,2	-29,4	71,3
6	4,48	0	-	-	-	-	-	-	-

Расшифровка названий столбцов таблицы:

- (1) – номер k рассматриваемого стержня;
- (2) - длина стержня l_k , м;
- (3) - найденное усилие в k -м стержне в зависимости от параметра нагрузки P ;
- (4) - характеристика нагружения стержня (*раст.* - растяжение, *сж.* - сжатие);
- (5) - гибкость стержня λ_k определяется только для сжатых стержней

по формуле $\lambda_k = \frac{\mu \cdot l_k}{i_y}$

где μ – коэффициент приведения длины, для данного случая шарнирного закрепления концов стержней в ферме $\mu=1$;

i_y – радиус инерции поперечного сечения стержня, соответствует минимальному радиусу инерции сечения i , соответственно, максимальной гибкости стержня;

(6) - коэффициент снижения допускаемых напряжений (коэффициент продольного изгиба) φ_k зависит от материала стержня и его гибкости и определяется по соответствующей таблице 1.1 ($\varphi_k = 1$ при растяжении и $\varphi_k < 1$ при сжатии):

(7) - допускаемое напряжение для рассматриваемого стержня с учетом коэффициента снижения допускаемых напряжений $[\sigma_k] = \varphi_k \cdot [\sigma]$;

(8) - ограничение на нагрузку $P \leq P_k$ для k -го стержня, определяемое из его условия прочности с учетом снижения допускаемых напряжений для сжатых стержней

$$|\sigma_k| = \left| \frac{N_k}{F} \right| \leq [\sigma_k] \quad (1)$$

(9) – напряжение σ_k в k -ом стержне при нагрузке, равной допускаемой ($P = [P]$).

Очевидно, что с учетом ограничений (1) допускаемая нагрузка для фермы определяется как минимум ограничений для всех стержней фермы:

$$P \leq [P] = \min \{P_1, P_2, \dots, P_s\} \quad (2)$$

где s - число стержней в ферме;

(10) – недогрузка η стержней фермы при $P = [P]$ определяется по формуле

$$\eta_k = \frac{([\sigma_k] - |\sigma_k|)}{[\sigma_k]} \cdot 100\% \quad (3)$$

где $|\sigma_k|$ – модуль напряжения для k -ого стержня при $P = [P]$.

В качестве примера рассмотрим расчеты для 1 и 2 строчек таблицы. Для заданного поперечного сечения стержней фермы в виде двутавра №20 из таблицы прокатных профилей имеем: $i_y = 2,07$ см; $F = 20,8$ см²

Стержень №1 ($k = 1$, работает на растяжение).

$\varphi_1 = 1$, $[\sigma_1] = \varphi_1 \cdot [\sigma] = 160$ МПа.

Условие прочности (1) для данного стержня

$$|\sigma_1| = \left| \frac{N_1}{F} \right| = \frac{4P}{F} \leq [\sigma_1]$$

дает следующее ограничение:

$$P \leq \frac{[\sigma_1] \cdot F}{4} = \frac{160 \cdot 10^6 \cdot 20,8 \cdot 10^{-4}}{4} = 83200 \text{Н} = 83,2 \text{ кН} = P_1$$

Итак, $P \leq P_1 = 83,2 \text{ кН}$

Стержень №2 ($k = 2$, работает на сжатие)

$$\text{Гибкость } \lambda = \frac{400}{2,07} = 199.$$

Из таблицы 1.1 следует $\varphi_2 = 0,19$.

Тогда: $[\sigma_2] = \varphi_2 \cdot [\sigma] = 0,19 \cdot 160 = 30,4 \text{ МПа}$

Из условия прочности $|\sigma_2| = \left| \frac{N_2}{F} \right| = \left| \frac{-4,12P}{F} \right| \leq [\sigma_2]$ получим:

$$P \leq \frac{[\sigma_2] \cdot F}{4,12} = \frac{30,4 \cdot 10^6 \cdot 20,8 \cdot 10^{-4}}{4,12} = 15348 \text{Н} = 15,3 \text{ кН} = P_2$$

Следовательно, $P \leq P_2 = 15,3 \text{ кН}$.

Заметим, что усилие в стержне №6 равно нулю, поэтому дальнейшие расчеты для него не проводятся. Однако, этот стержень необходим для сохранения жесткости конструкции.

Таким образом, в 8-м столбце таблицы приведены ограничения на нагрузку P из условий прочности (1) для всех стержней:

$$P \leq P_1 = 83,2 \text{ кН}$$

$$P \leq P_2 = 15,3 \text{ кН}$$

$$P \leq P_3 = 150 \text{ кН}$$

$$P \leq P_4 = 74,3 \text{ кН}$$

$$P \leq P_5 = 53,2 \text{ кН}$$

Очевидно, что допускаемое значение нагрузки $[P]$ для всех стержней фермы должно удовлетворять условию (2).

В нашем случае $P \leq [P] = 15,3 \text{ кН}$.

Таким образом, наиболее нагруженным оказался стержень №2, который работает на сжатие, обладает большой гибкостью, что дает для него значительное снижение допускаемого напряжения (сравните: $[\sigma_1] = [\sigma_4] = 160 \text{ МПа}$, а $[\sigma_2] = 30,4 \text{ МПа}$).

Заметим, что если не учитывать знак напряжений, то наиболее нагруженным стержнем оказывается стержень №4, и тогда допускаемая нагрузка будет равна $[P] = 74,3 \text{ кН}$, при которой стержень №2 и даже №5 теряют устойчивость (изгибаются), что приводит к разрушению конструкции.

Заполним столбец (9). Найдем напряжения в каждом стержне при $P = [P] = 15,3 \text{ кН}$.

Стержень №1 работает на растяжение, поэтому

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F} = \frac{4P}{F} \Big|_{P=[P]} = \frac{4 \cdot 15,3 \cdot 10^3}{20,8 \cdot 10^{-4}} = 29700 \cdot 10^7 \text{ Па} = 29,7 \text{ МПа}$$

Стержень №2 работает на сжатие, поэтому

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F} = \frac{-4,12P}{F} \Big|_{P=[P]} = \frac{-4,12 \cdot 15,3 \cdot 10^3}{20,8 \cdot 10^{-4}} = -30,3 \text{ МПа}$$

Далее: $\sigma_3 = -14,7 \text{ МПа}$, $\sigma_4 = 33 \text{ МПа}$, $\sigma_5 = -29,4 \text{ МПа}$.

Недогрузку стержней фермы при $P = [P]$ определим по формуле (3), используя для этого данные из столбцов (7) и (9).

Для стержня №1

$$\eta_1 = \frac{160 - 29,7}{160} \cdot 100\% = 81,6\%$$

Для стержня №2, в котором $[\sigma_2] = |\sigma_2|$, получаем максимальную загрузку, т.е. недогрузка для него равна

$$\eta_2 = \frac{30,3 - 30,3}{30,3} \cdot 100\% = 0\%$$

Для стержней №№ 3, 4 и 5

$$\eta_3 = \frac{144 - 14,7}{144} \cdot 100\% = 89,8\%$$

$$\eta_4 = \frac{160 - 33}{160} \cdot 100\% = 79,4\%$$

$$\eta_5 = \frac{102,4 - 29,4}{102,4} \cdot 100\% = 71,3\%$$

Таким образом, столбец (10) показывает способ *оптимизации по весу* всей конструкции. Если мы уменьшим площадь всех недогруженных стержней на соответствующий процент недогрузки η_k , то получим конструкцию, все элементы которой работают *максимально нагруженными* с точки зрения прочности, то есть напряжение в любом стержне будет равно допускаемому напряжению для этого стержня.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА СЕМЕСТРА

Недели	Лекции	Темы практических занятий	Выполнение задач КР
1	Введение. Метод сечений. Понятие о напряжениях и деформациях. Основные виды деформаций стержней.	Расчет ферм	
2	Растяжение. Закон Гука. Механические свойства конструкционных материалов.	Расчет ферм	№1
3	Вопросы прочности и надежности в сопротивлении материалов. Расчет на прочность по допускаемым напряжениям. Условия прочности и жесткости.	Расчеты при растяжении (сжатии): статически определимые системы	
4	Расчет статически неопределимых систем при растяжении (сжатии).	Расчеты при растяжении (сжатии): статически неопределимые системы	№2
5	Геометрические характеристики плоских сечений.	Определение температурных и монтажных усилий в стержнях	№3
6	Кручение стержней кругового поперечного сечения..	Расчеты при кручении (стат. определимые системы)	
7	Расчет цилиндрических витых пружин растяжения (сжатия).	Расчеты при кручении (стат. неопределимые системы)	№4
8	Изгиб. Дифференциальные зависимости при изгибе. Построение эпюр внутренних силовых факторов при изгибе	Расчет пружин. Геометрические характеристики сечений при изгибе.	№5
9	Нормальные напряжения при изгибе. Расчеты на прочность. Рациональные поперечные сечения балок.	Построение эпюр при изгибе, расчеты на прочность	
10	Определение перемещений при изгибе. Интеграл Максвелла-Мора. Правило Симпсона. Плоские рамы.	Перемещения при изгибе. Правило Симпсона.	№6
11	Сложное нагружение: косоугольный изгиб, внецентренное растяжение (сжатие).	Построение эпюр и расчеты на прочность и жесткость в плоских рамах.	№7
12	Напряженное состояние в точке. Критерии прочности. Сложное нагружение: сочетание изгиба с кручением	Сложное нагружение: косоугольный изгиб, внецентренное растяжение-сжатие	№8
13	Расчеты на усталость. Характер и причины усталостного разрушения. Типы циклов и их параметры. Кривая усталости Вёлера и предел выносливости. Расчет на усталость при симметричном цикле.	Сложное нагружение: сочетание изгиба с кручением	
14	Диаграмма Хейга предельных напряжений и ее схематизация. Расчет на выносливость при асимметричном цикле и при сочетании изгиба с кручением. Проектный расчет валов редукторов.	Расчет валов редукторов	№9
15	Устойчивость сжатых стержней. Формула Эйлера для расчета критической силы.	Устойчивость	
16	Полная диаграмма зависимости критических напряжений от гибкости. Практические расчеты на устойчивость по коэффициенту продольного изгиба.	<i>Защита КР</i>	