

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

В.Е. ХРОМАТОВ, О.В. НОВИКОВА, А.В. БЕСОВА, Е.В. ПОЗНЯК,
Т. Н. ДОГАДИНА, В. Ю. ВОЛОХОВСКИЙ

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к курсовой работе (проекту) и расчетному заданию
по курсу *«Механика материалов и конструкций»*
для студентов, обучающихся по направлениям
«Энергетическое машиностроение», «Прикладная механика»,
«Мехатроника и робототехника», «Машиностроение»

Москва
2023

УДК 539.4
Х-941

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре робототехники, мехатроники, динамики и прочности
машин

Рецензент – В.П. Чирков, д.т.н., профессор кафедры РМДПМ
НИУ «МЭИ»

Хроматов В.Е.

Расчеты на прочность и жесткость элементов машиностроительных
конструкций / В.Е. Хроматов, О.В. Новикова, А.В. Бесова, Е.В. Позняк,
Т. Н. Догадина, В. Ю. Волоховский – М.: Издательство МЭИ, 2023. - 35 с.

Учебное пособие содержит условия задач по расчету стержневых систем на
растяжение-сжатие, кручение, изгиб, сложные виды деформаций, на выносливость
при циклическом нагружении. Задание состоит из двух частей, каждая из которых
выполняется и защищается отдельно. В приложениях приведены основные расчетные
формулы, числовые данные для расчетов, справочная информация.

Пособие предназначено для студентов 2 курса Института
энергомашиностроения и механики и Института гидроэнергетики и возобновляемых
источников энергии, обучающихся по направлениям 13.03.03 Энергетическое
машиностроение, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.03 Прикладная механика, 15.03.06
Мехатроника и робототехника и изучающих дисциплину «Механика материалов и
конструкций» в 3-м семестре обучения.

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ/СЖАТИИ, КРУЧЕНИИ	6
Задача № 1. Расчет статически определимой фермы	6
Задача № 2. Расчет призматического ступенчатого стержня, работающего на растяжение/сжатие при квазистатическом нагружении.....	6
Задача № 3. Расчет на прочность статически неопределимой стержневой системы при силовом и температурном воздействии	6
Задача № 3а. Определение монтажных напряжений в статически неопределимой стержневой системе	7
Задача № 4. Расчет на прочность и жесткость стержня кругового/кольцевого поперечного сечения	7
Задача № 5. Проектирование витых цилиндрических пружин растяжения- сжатия	8
ЧАСТЬ 2. ИЗГИБ, СЛОЖНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ СТЕРЖНЕЙ.....	9
Задача № 6. Расчет на прочность балки при изгибе	9
Задача № 7. Расчет плоской статически определимой рамы при силовом и температурном воздействии.....	9
Задача № 8. Сложные виды деформации стержневых систем	10
Задача № 9. Внецентренное нагружение стержней	10
Задача № 10. Расчет вращающегося вала на выносливость	11
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ	14
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ТАБЛИЦЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ В. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ	27
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ТАБЛИЦЫ СОРТАМЕНТОВ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ.....	29
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА СЕМЕСТРА	34

ВВЕДЕНИЕ

Указания по выполнению и оформлению курсовой работы (проекта)

Расчетное задание (курсовая работа или проект) состоит из двух частей: «ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ/СЖАТИИ, КРУЧЕНИИ», «ЧАСТЬ 2. ИЗГИБ, СЛОЖНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ СТЕРЖНЕЙ».

Все задания должны быть выполнены самостоятельно после изучения соответствующих разделов курса «Механика материалов и конструкций». Данные для выполнения заданий выдаются преподавателем.

Расчетно–пояснительная записка (отчет) по каждой части работы выполняется, оформляется отдельно и сдается на проверку в сроки, указанные преподавателем. В соответствии с положениями ГОСТ 7.32-2017 отчет по расчетному заданию (курсовой работе или проекте) оформляется на листах формата А4 (210х297). Текст пишется четко и аккуратно (или набирается с использованием компьютера) на одной стороне листа белой бумаги с размерами полей: правое - не менее 10 мм, верхнее и нижнее - не менее 20 мм, левое - не менее 30 мм. Страницы нумеруются.

Текстовая часть отчета должна содержать изложение последовательного выполнения пунктов условия соответствующей задачи. Все обозначения должны совпадать с принятыми на лекциях или быть объяснены. Не допускается приведение формул и выполнение вычислений без текстового комментария. Числовые данные к расчетным схемам, приведённые в таблицах исходных данных ([Приложение Б](#)), записываются в условии задачи и при необходимости - непосредственно на чертежах и рисунках в расчетно-пояснительной записке. Каждая задача в расчетно-пояснительной записке должна начинаться с условия. При проведении вычислений необходимо записать расчетную формулу, далее подставить числовые значения параметров и записать результат, содержащий не более 3-х значащих цифр с указанием размерности.

Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы, графики) выполняют на отдельных листах бумаги форматом А4 чертежными инструментами (или с помощью графических компьютерных программ) с соблюдением масштабов. Основные формулы в тексте, таблицы и графики необходимо пронумеровать. Рекомендуется (см. ГОСТ 7.32-2017) применение двойной нумерации (например: формула 1.2, Таблица 3.3, Рисунок 4.5 и т. д.).

Решение задач рекомендуется проводить с использованием систем научных и инженерных расчетов типа Smath, GNU Octave, SciLab, Python с обязательной распечаткой программ и (или) рабочих листов, содержащих

исходные числовые данные, алгоритмы вычислений и необходимый графический материал.

При использовании учебников, пособий, ГОСТов и другой литературы необходима ссылка на источники. В этом случае в конце текстовой части отчета приводится библиографический список.

При исправлении проверенного преподавателем отчета по курсовой работе необходимо оставлять замечания, сделанные преподавателем. Мелкие исправления вносятся непосредственно на странице, где имеются замечания, а крупные – на новых листах, подшиваемых к отчету.

Отчет без бланка задания, подписанного преподавателем, а также оформленный с нарушением ГОСТ 7.32-2017 и настоящих указаний, не принимается.

После проверки задания преподавателем студент должен внести исправления в соответствии с замечаниями и вновь сдать расчет с работой над ошибками.

ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ/СЖАТИИ, КРУЧЕНИИ

Задача № 1. Расчет статически определимой фермы

Плоская статически определимая ферма, изготовленная из стальных стержней стандартного прокатного профиля ([двутавр ГОСТ 8239–89](#), [швеллер ГОСТ 8240-97](#)), нагружена сосредоточенными силами в узлах. Для заданной расчетной схемы фермы требуется:

1.1. Найти реакции опор, продольные усилия и напряжения во всех стержнях фермы, выразив их через параметр нагрузки P . Результаты представить в табличной форме.

1.2. Из условия прочности по нормальным напряжениям определить величину допускаемого параметра нагрузки $[P]$.

Задача № 2. Расчет призматического ступенчатого стержня, работающего на растяжение/сжатие при квазистатическом нагружении

Ступенчатый призматический стержень нагружен монотонно возрастающими осевыми силами P и kP . Для заданной расчетной схемы нагруженного стержня требуется:

2.1. Определить значение параметра нагрузки $P = P_1$, при котором перекроется зазор δ . Для найденного значения параметра P_1 построить эпюры продольных сил N_z , напряжений σ и осевых перемещений сечений стержня u .

2.2. Вычислить продольные силы N_z , напряжения σ и перемещения u при параметре силы $P = 2P_1$. Построить соответствующие эпюры.

2.3. Найти коэффициент запаса прочности n .

Указания:

1) на схеме заштрихованная часть стержня - абсолютно жесткая;

2) принять модуль продольной упругости материала $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, предельные напряжения $\sigma_{\text{пред}} = 250$ МПа.

Задача № 3. Расчет на прочность статически неопределимой стержневой системы при силовом и температурном воздействии

Плоская стержневая система состоит из стержней кругового поперечного сечения диаметром d_1 и d_2 и нагружена внешней силой P . Температура некоторых стержней изменяется на ΔT . Для заданной расчетной схемы стержневой системы требуется:

3.1. Определить продольные силы и напряжения в стержнях при нагружении силой P , приняв её как параметр.

3.2. Из условия прочности определить допускаемое значение силы $[P]$.

3.3. Определить усилия и напряжения в стержнях, если стержень (стержни), отмеченный на схеме, нагрет на ΔT . Температурный расчет выполнить в предположении, что сила P отсутствует.

3.4. Проверить прочность системы при совместном действии нагрузки $[P]$ и температурном воздействии.

Указания:

- 1) балки, поддерживаемые стержнями, считать недеформируемыми;
- 2) принять, что материал стержней – сталь: $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $[\sigma] = 160$ МПа.

Задача № 3а. Определение монтажных напряжений в статически неопределимой стержневой системе

Стержневая система состоит из стержней кругового поперечного сечения диаметром d_1 и d_2 и до сборки имеет начальный зазор δ . Для заданной расчетной схемы стержневой системы требуется:

3а.1. Определить продольные силы и напряжения в стержнях после сборки.

3а.2. Проверить выполнение условия прочности.

Указания:

- 1) балки, поддерживаемые стержнями, считать недеформируемыми;
- 2) принять, что материал стержней – сталь: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $[\sigma] = 160$ МПа.

Задача № 4. Расчет на прочность и жесткость стержня кругового/кольцевого поперечного сечения

Ступенчатый стержень переменного поперечного сечения нагружен внешними крутящими моментами. Для заданной расчетной схемы стержня системы требуется:

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

4.2. Из расчета на прочность и жесткость определить величину параметра d диаметра стержня. Построить эпюру касательных напряжений τ в опасном сечении.

4.3. Построить эпюру углов закручивания по длине стержня.

Указания:

- 1) при выполнении п.4.1, в случае необходимости, раскрыть статическую неопределимость;
- 2) при выполнении п. 4.2 принять, что материал стержня – сталь: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа, $[\tau] = 100$ МПа, $[\theta] = 0,005$ рад/м.

Задача № 5. Проектирование витых цилиндрических пружин растяжения-сжатия

Спроектировать витые цилиндрические пружины, при заданном внешнем воздействии P и рабочем ходе для обеспечения контакта δ_0 . Для заданной расчетной схемы механизма контактора требуется:

5.1. Определить усилия, приходящиеся на каждую пружину.

5.2. Для заданного материала и индекса пружины $\chi = D/d$ из условия прочности подобрать диаметр проволоки d и найти диаметр витка пружины D .

5.3. Из условия ограничения осадки пружины в точке контакта ($\delta_K \geq \delta_0$) определить необходимое число витков пружин.

5.4. Для подобранных параметров пружин проверить:

- условие прочности,
- условие малости угла подъема витков:

$$h_0 = \left(\frac{\delta_0}{n} + 1,1d \right) < \frac{D}{2} \quad (h_0 - \text{шаг подъема витка пружины})$$

- условие устойчивости пружины:

$$H_0 = ((1,1n + 1,0) \cdot d + \delta_0) < 2,5D \quad (H_0 - \text{высота пружины})$$

5.5. Рассчитать жесткость пружин:

$$c = \frac{G d^4}{8 D^3 n}.$$

Указания:

- 1) параметры пружин механизма считать одинаковыми;
- 2) диаметр проволоки округлить до целого числа (в мм).

ЧАСТЬ 2. ИЗГИБ, СЛОЖНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ СТЕРЖНЕЙ

Задача № 6. Расчет на прочность балки при изгибе

Стальная балка с заданной формой поперечного сечения, нагруженная сосредоточенными силами, моментами и распределенной нагрузкой, испытывает прямой поперечный изгиб. Для заданной расчетной схемы балки требуется:

6.1. Определить положение главных центральных осей и вычислить главные центральные моменты инерции поперечного сечения балки.

6.2. Определить опорные реакции. Построить эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x .

6.3. Из условия прочности определить допускаемое значение параметра нагрузки $[q]$. Построить эпюру нормальных напряжений σ в опасном сечении.

6.4. *Факультативно.* Для заданной схемы нагружения балки записать краевые условия. Методом начальных параметров получить выражения и построить эпюры прогибов балки $v(z)$, углов поворота сечений $\varphi(z)$, изгибающих моментов M_x , поперечных сил Q_y .

Указания:

- 1) плоскость приложения сосредоточенных сил, моментов и распределенной нагрузки совпадает с вертикальной плоскостью инерции поперечного сечения балки;
- 2) при выполнении п.6.2 на каждом характерном участке записать аналитические выражения для поперечной силы $Q_y(z)$ и изгибающего момента $M_x(z)$;
- 3) эпюру нормальных напряжений σ построить при найденном значении параметра нагрузки $[q]$;
- 4) принять, что балка изготовлена из пластичного материала – Ст3: $[\sigma] = 160$ МПа, $E = 200$ ГПа.

Задача № 7. Расчет плоской статически определимой рамы при силовом и температурном воздействии

Плоская статически определимая рама (фрагмент опорной рамы турбогенератора), изготовленная из стержней стандартного прокатного профиля, нагружена внешними силами, лежащими в плоскости рамы. Для заданной расчетной схемы конструкции требуется:

7.1. Определить опорные реакции и построить эпюры внутренних силовых факторов – продольных сил N_z , поперечных сил Q_y , и изгибающих моментов M_x .

7.2. Из расчетов на прочность по допускаемым напряжениям изгиба подобрать номер прокатного сечения рамы ([двутавр ГОСТ 8239-89](#) или [швеллер ГОСТ 8240-97](#)). Для выбранного сечения построить эпюру нормальных напряжений.

7.3. Применив энергетический метод определения перемещений (интеграл Максвелла-Мора) вычислить прогиб v и угол поворота φ сечения K при силовом нагружении рамы

7.4. *Факультативно.* Для линейного закона изменения температуры по высоте поперечного сечения стержней вычислить прогиб и угол поворота сечения K от температурного воздействия.

Указания:

- 1) *принять материал – сталь: $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_T = 240$ МПа;*
- 2) *при выполнении п.7.4 применить формулу Максвелла-Мора. Учесть продольную и изгибную температурные деформации. Принять начальную температуру, при которой производился монтаж системы, равной T_0 , конечную температуру в нижних волокнах стержней – T_1 , верхних – T_2 .*

Задача № 8. Сложные виды деформации стержневых систем

Балка нагружена пространственной системой сил. Для заданной расчетной схемы пространственной конструкции требуется:

- 8.1. Построить эпюры изгибающих моментов M_x , M_y и продольных сил N_z .
- 8.2. Для опасного сечения построить эпюры нормальных напряжений.
- 8.3. Вывести уравнение нейтральной линии. Построить нейтральную линию и суммарную эпюру нормальных напряжений.
- 8.4. Проверить прочность конструкции

Указания:

принять, что материал стержней - сталь: $\sigma_T = 240$ МПа.

Задача № 9. Внецентренное нагружение стержней

Прямолинейный стержень, изготовленный из стандартного прокатного профиля ([двутавр, ГОСТ 8239-89](#), [швеллер ГОСТ 8240-97](#), [уголок равнополочный ГОСТ 8509-93](#)), и нагружен внецентренно приложенными продольными силами. Для заданной расчетной схемы требуется:

- 9.1. Вычислить внутренние силовые факторы N_z , M_x , M_y в стержне.
- 9.2. Определить допускаемое значение силы P из расчета на прочность при растяжении-сжатии.
- 9.3. Определить допускаемое значение силы P из условия прочности по нормальным напряжениям от продольных сил и изгибающих моментов. Сравнить результаты расчета с результатом расчета по пункту 9.2.
- 9.4. Вывести уравнение нейтральной линии, построить эпюры нормальных напряжений σ_{Mx} , σ_{My} , σ_{Nz} и суммарную эпюру нормальных напряжений.

Указания:

- 1) *при выполнении п.9.1 считать, что линия действия силы P проходит через центр тяжести сечения стержня;*
- 2) *при выполнении п.9.4 принять, что $P=[P]$.*

Задача № 10. Расчет вращающегося вала на выносливость

Круглый вал постоянного поперечного сечения (диаметр d) вращается с рабочей частотой n_0 и передает мощность N . Для заданной расчетной схемы требуется:

10.1. Определить передаваемый крутящий момент и усилия P_1 , P_2 в зацеплениях зубчатых колес диаметрами D_1 , D_2 .

10.2. Построить эпюры изгибающих моментов M_x , M_y и крутящего момента M_z .

10.3. Выполнить статический расчет - подобрать диаметр вала d без учета циклического изменения напряжений.

10.4. Выполнить проверочный расчет вала с учетом циклического изменения напряжений.

Указания:

- 1) при выполнении проектного расчета (п. 10.3) назначить нормативный коэффициент запаса прочности 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;
- 2) при выполнении проверочного расчета (п. 10.4) принять, что нормальные напряжения меняются по симметричному циклу, касательные напряжения постоянны во времени;
- 3) считать, что посадка диска на вал осуществляется при помощи шпоночного соединения;
- 4) при расчетах на выносливость необходимо учесть влияние концентраторов напряжений, состояние поверхности и масштабный фактор. Механические характеристики, коэффициенты K_F , K_d , K_σ выбрать по [Приложению В](#);
- 5) фактический коэффициент запаса прочности должен находиться в пределах $1,4 \leq [n] \leq 1,8$. Если это условие не выполняется, необходимо изменить диаметр вала и повторить проверочный расчет.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература:

1. **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. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-534-05124-7 .
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. - ISBN 978-5-383-01076-1
3. **Минин, Л. С. Сопротивление материалов. Расчетные и тестовые задания:** учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям / Л. С. Минин, Ю. П. Самсонов, В. Е. Хроматов ; ред. В. Е. Хроматов . – 3-е изд., перераб. и доп . – Москва : Юрайт, 2022 . – 213 с. – (Высшее образование) . - На обл. серия: Бакалавр. академический курс . - ISBN 978-5-534-08416-0 .
4. **Динамика и прочность стержневых элементов конструкций. Примеры расчетов:** учебное пособие по курсу "Механика материалов и конструкций" по направлениям "Энергетическое машиностроение", "Машиностроение", "Прикладная механика", "Робототехника и мехатроника" / В. Е. Хроматов, Т. Б. Дуйшеналиев, Т. Н. Комиссарова, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") ; ред. В. Е. Хроматов, Т. Н. Комиссарова . – Москва : Изд-во МЭИ, 2021 . – 128 с. - Авторы указаны на обороте тит. л. - ISBN 978-5-7046-2481-3 .

б) дополнительная литература:

5. **Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебник для втузов** / 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
6. **Механика материалов и конструкций: Сборник задач:** Учебное пособие для вузов по направлениям подготовки дипломированных специалистов "Энергомашиностроение", "Машиностроительные технологии и оборудование", "Материаловедение, технологии материалов и покрытий", и др

/ Ю. А. Окопный, и др. ; Ред. В. П. Чирков . – М. : Машиностроение, 2004 . – 416 с. - ISBN 5-217-03218-9 .

7. **Механика материалов и конструкций. Основные формулы. Контрольные вопросы и задачи. Основоположники механики.** [посвящ. 65-летию ЭнМИ ТУ МЭИ] : учебное пособие по курсу "Механика материалов и конструкций" по направлению "Энергомашиностроение" / Ю. А. Окопный, В. П. Радин, В. Е. Хроматов, В. П. Чирков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 276 с. - ISBN 978-5-383-00190-5 .

8. **Статические и динамические расчеты элементов конструкций в вопросах и задачах** : учебное пособие по курсам "Механика материалов и конструкций", "Сопротивление материалов" по направлениям "Энергетическое машиностроение", "Прикладная механика" / В. Е. Хроматов, О. В. Новикова, А. В. Бесова, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" ; ред. В. Е. Хроматов . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 88 с. - ISBN 978-5-7046-1630-6 .

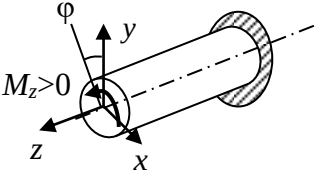
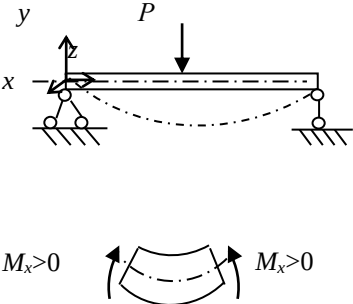
9. **Информационные технологии в инженерных расчетах: SMath и Python** : учебное пособие [для вузов] / В. Ф. Очков, К. А. Орлов, Ю. В. Чудова, [и др.] . – Санкт-Петербург : Лань, 2023 . – 212 с. - Авторы указаны перед выпускными данными . - ISBN 978-5-507-45821-9 .

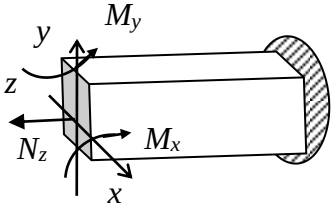
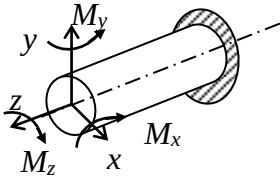
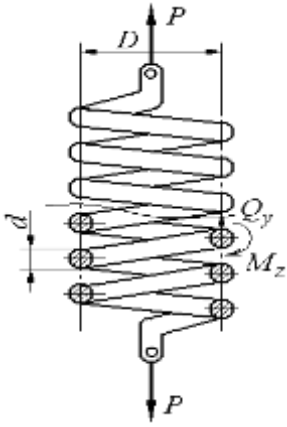
10. **Алексеев, Е. Р. Введение в Octave** : курс лекций . – 2-е изд., испр . – Москва : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016 . – 487 с. : ил. – Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация . - Библиогр. в кн .

11. **Ерин, С. В. Автоматизация инженерных расчетов с использованием пакета Scilab**: практическое пособие / С. В. Ерин, Ю. Л. Николаев . – М. : Русайнс, 2018 . – 183 с. - ISBN 978-5-4365-1555-7 .

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Таблица А.1. Расчетные формулы

Вид деформации стержня	Напряжения, условие прочности	Деформация, условие жесткости
	$\sigma_{\max} = \frac{N_z}{F} \leq [\sigma]$	$\Delta l = \frac{N_z l}{EF},$ $\varepsilon = \frac{N_z}{EF} \leq [\varepsilon]$
	$\tau = \frac{M_z r}{I_p}$ $\tau_{\max} = \frac{ M_z }{W_p} \leq [\tau]$ $I_p = \frac{\pi d^4}{32}, W_p = \frac{\pi d^3}{16}$	$\varphi = \frac{M_z l}{GI_p},$ $\theta = \frac{M_z}{GI_p} \leq [\theta]$
	$\sigma = -\frac{M_x}{I_x} y$ $\sigma_{\max} = \left \frac{M_x}{I_x} y_{\max} \right =$ $= \frac{ M_x }{W_x} \leq [\sigma]$	$\Delta_k = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{1k}}{EI_x} dz$

	$\sigma = \sigma_{N_z} + \sigma_{M_x} + \sigma_{M_y} =$ $= \frac{N_z}{F} - \frac{M_x}{I_x} y - \frac{M_y}{I_y} x$ $\sigma_{\max} =$ $= \frac{ N_z }{F} + \frac{ M_x }{W_x} + \frac{ M_y }{W_y} \leq [\sigma]$	$\Delta_{ky} = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{kx}}{EI_x} dz$ $\Delta_{kx} = \int_0^l \frac{M_y \bar{M}_{ky}}{EI_y} dz$
	$\sigma_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}}}{W_{\text{изг}}} =$ $= \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}}{\pi d^3 / 32} \leq [\sigma]$	
	$\tau_{\max} = \frac{8PD}{\pi d^3} \leq [\tau]$	$\delta = \frac{8PD^3 n}{Gd^4}$
Формула Симпсона для вычисления интеграла Максвелла-Мора $\Delta_k = \int_0^l \frac{M_x \bar{M}_{1k}}{EI_x} dz =$ $= \frac{l}{6EI_x} \left[M_x(0) \cdot \bar{M}_{1k}(0) + 4M_x\left(\frac{l}{2}\right) \cdot \bar{M}_{1k}\left(\frac{l}{2}\right) + M_x(l) \cdot \bar{M}_{1k}(l) \right]$		

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ТАБЛИЦЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Таблица Б.1. Данные к задаче №1

№ варианта	a , м	b , м	c , м	Прокатный профиль	$[\sigma]$, МПа
1	2,0	1,6	1,5	Швеллер № 14	150
2	2,0	2,0	1,8	Двутавр № 10	140
3	2,2	2,0	1,6	Швеллер № 12	170
4	2,0	1,8	1,5	Двутавр № 12	180
5	2,5	2,0	2,5	Швеллер № 10	190
6	1,8	2,1	2,0	Двутавр № 14	200
7	1,5	1,8	1,6	Швеллер № 18	150
8	1,6	2,0	1,8	Двутавр № 16	140
9	2,2	1,5	1,6	Швеллер № 16	170
10	2,5	2,0	2,0	Двутавр № 14	180
11	2,0	2,5	2,0	Швеллер № 14	190
12	1,8	2,0	1,5	Двутавр № 12	200
13	1,6	1,6	1,6	Швеллер № 12	150
14	2,0	1,7	1,6	Двутавр № 10	140
15	2,5	2,8	1,5	Швеллер № 10	170
16	2,2	2,0	2,2	Двутавр № 12	180
17	2,2	1,8	1,8	Швеллер № 10	190
18	1,4	2,2	1,6	Двутавр № 14	200
19	2,0	2,4	1,8	Швеллер № 12	150
20	1,4	1,8	1,5	Двутавр № 16	140
21	1,5	2,4	2,8	Швеллер № 14	170
22	2,5	2,0	2,3	Двутавр № 16	180
23	1,8	1,0	1,7	Швеллер № 16	190
24	1,9	2,7	1,7	Двутавр № 12	200
25	2,0	2,6	1,9	Швеллер № 18	150
26	2,0	2,8	1,9	Двутавр № 14	140
27	2,7	2,4	2,0	Швеллер № 16	170
28	2,5	1,5	1,5	Двутавр № 10	180
29	1,8	2,0	2,0	Швеллер № 14	190
30	1,2	2,0	2,0	Двутавр № 12	200

Таблица Б.2. 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	10	20	0,8	1,5
2	50	28	12	20	0,9	1,3
3	52	50	15	25	1,0	1,5
4	48	60	15	20	0,5	1,7
5	50	50	10	25	0,8	2,0
6	65	60	12	21	0,7	1,4
7	70	45	18	32	1,1	1,1
8	46	32	12	20	0,8	2,0
9	72	35	14	27	0,9	2,1
10	45	70	12	22	0,7	1,5
11	48	62	12	20	0,8	1,7
12	38	45	10	20	0,9	1,4
13	55	40	8	18	0,8	1,5
14	54	60	10	24	0,6	2,4
15	44	35	12	20	0,5	2,3
16	35	45	15	24	1,1	2,5
17	59	62	13	21	0,8	2,3
18	60	43	20	28	0,8	1,4
19	55	55	10	20	0,8	1,3
20	55	35	14	24	0,7	1,7
21	65	38	10	35	1,2	1,3
22	70	75	18	30	1,1	1,4
23	52	42	14	27	1,3	1,3
24	70	50	15	24	0,11	1,3
25	52	47	13	21	0,7	1,7
26	48	45	14	32	0,2	1,2
27	12	26	9	33	0,7	2,2
28	75	51	12	21	0,5	1,8
29	34	38	17	31	0,7	1,8
30	44	62	30	23	1,0	2,2

Таблица Б.3. Данные к задаче №3

№ варианта	l_1 , см	l_2 , см	a , см	d_1 , см	d_2 , см	φ , град	ΔT , град
1	45	57	50	0,9	0,8	35	30
2	34	27	70	1,2	0,7	42	20
3	57	63	30	1,0	0,6	45	25
4	53	62	40	1,4	1,2	27	30
5	52	85	85	1,1	0,9	40	45
6	43	70	70	1,1	0,85	20	35
7	65	90	90	0,7	0,6	15	-20
8	71	80	80	0,8	0,8	21	40
9	72	41	61	0,9	0,7	28	50
10	73	55	65	0,4	0,5	36	45
11	60	75	75	0,6	0,5	35	25
12	55	80	80	0,4	0,6	30	-30
13	50	75	75	0,6	0,45	35	40
14	58	72	120	0,6	0,8	20	55
15	51	62	120	1,0	0,7	15	45
16	59	80	80	0,9	0,7	50	50
17	61	80	80	1,1	0,8	20	40
18	71	80	80	1,1	0,8	30	20
19	85	80	80	0,6	0,5	30	30
20	65	60	60	0,6	0,45	40	-20
21	70	50	100	0,7	0,6	20	40
22	40	40	120	0,8	0,6	25	35
23	60	60	60	0,7	0,5	15	50
24	50	75	75	0,9	0,5	20	30
25	85	80	80	0,7	0,5	40	60
26	90	85	125	0,9	0,6	25	55
27	100	110	110	0,6	0,6	20	-40
28	60	95	95	0,6	0,9	35	25
29	63	90	90	0,8	0,8	15	60
30	67	80	80	1,0	0,8	40	-20

Таблица Б.4. Данные к задаче №3а

№ варианта	l_1 , см	l_2 , см	a , см	d_1 , см	d_2 , см	φ , град	δ , см
1	150	70	70	0,9	0,8	35	0,1
2	140	170	170	1,2	0,7	42	0,05
3	70	130	130	1,0	0,6	45	0,1
4	130	120	120	1,4	1,2	27	0,12
5	120	85	85	1,1	0,9	40	0,15
6	130	70	70	1,1	0,85	20	0,05
7	65	90	90	0,7	0,6	15	0,08
8	110	80	80	0,8	0,8	21	0,2
9	120	110	110	0,9	0,7	28	0,05
10	130	65	65	0,4	0,5	36	0,08
11	100	125	125	0,6	0,5	35	0,06
12	125	80	80	0,4	0,6	30	0,09
13	100	75	75	0,6	0,45	35	0,07
14	80	120	120	1,0	0,8	20	0,1
15	110	120	120	1,0	0,7	15	0,15
16	90	80	80	0,9	0,7	50	0,1
17	110	80	80	1,1	0,8	20	0,08
18	110	80	80	1,1	0,8	30	0,6
19	85	80	80	0,6	0,5	30	0,15
20	65	60	60	0,6	0,45	40	0,2
21	70	100	100	0,7	0,6	20	0,25
22	50	120	120	0,8	0,6	25	0,3
23	160	60	60	0,7	0,5	15	0,07
24	150	75	75	0,9	0,5	20	0,1
25	85	80	80	0,7	0,5	40	0,15
26	90	125	125	0,9	0,6	25	0,14
27	100	110	110	0,6	0,6	20	0,1
28	60	95	95	0,6	0,9	35	0,12
29	130	90	90	0,8	0,8	15	0,15
30	70	80	80	1,0	0,8	40	0,05

Таблица Б.5. Данные к задаче №4

№ варианта	M_1 , кН · м	M_2 , кН · м	l_1 , м	l_2 , м	c_1	c_2
1	10	15	0,4	0,6	0,9	0,7
2	15	10	0,5	0,4	0,9	0,7
3	12	20	0,3	0,8	0,85	0,65
4	13	18	0,4	0,6	0,85	0,65
5	18	10	0,5	0,6	0,8	0,6
6	20	10	0,6	0,4	0,8	0,6
7	19	15	0,4	0,6	0,75	0,55
8	18	11	0,5	0,6	0,75	0,55
9	10	20	0,5	0,8	0,7	0,5
10	11	19	0,3	0,5	0,7	0,5
11	14	25	0,5	0,6	0,85	0,7
12	16	10	0,4	0,8	0,85	0,7
13	18	10	0,6	0,6	0,9	0,75
14	17	12	0,3	0,7	0,9	0,75
15	15	10	0,3	0,6	0,85	0,75
16	20	15	0,5	0,4	0,85	0,7
17	18	12	0,4	0,6	0,8	0,6
18	17	11	0,4	0,7	0,9	0,8
19	14	10	0,6	0,5	0,85	0,7
20	13	20	0,6	0,4	0,85	0,6
21	12	19	0,3	0,8	0,9	0,8
22	15	10	0,4	0,3	0,9	0,8
23	20	15	0,4	0,5	0,95	0,5
24	18	10	0,5	0,4	0,95	0,5
25	20	15	0,4	0,5	0,9	0,6
26	18	18	0,4	0,7	0,85	0,6
27	18	22	0,3	0,7	0,85	0,65
28	15	14	0,3	0,6	0,7	0,45
29	16	14	0,5	0,5	0,95	0,45
30	20	10	0,2	0,5	0,9	0,5

Таблица Б.6. Данные к задаче №5

№ варианта	P , Н	δ_0 , мм	χ	G , 10^5 МПа	$[\tau]$, МПа
1	60	4	8	0,8	200
2	65	2	12	1,0	250
3	70	2,5	11	0,85	250
4	75	3	10	0,9	250
5	80	3,6	9	0,8	300
6	75	4	8	0,85	300
7	70	4,5	7	0,7	280
8	65	5	6	0,85	280
9	60	5,5	7	0,75	260
10	55	6	8	0,7	260
11	50	5,5	9	0,9	240
12	45	5	10	0,95	240
13	40	4,5	11	0,85	220
14	45	4	12	0,95	220
15	50	3,5	11	0,85	220
16	55	3	10	0,95	200
17	60	2,5	9	0,8	220
18	65	2	8	0,85	220
19	70	2,5	7	0,8	240
20	75	3	6	0,8	240
21	80	3,5	7	0,85	260
22	75	4	8	0,8	260
23	70	4,5	9	0,8	260
24	65	5	10	0,9	280
25	55	3	7	0,8	200
26	70	6	9	1,0	250
27	50	4.5	10	0,85	250
28	75	4	8	0,9	250
29	75	5	8	0,8	300
30	60	6	12	0,85	300

Таблица Б.7. Данные к задаче №6

№ варианта	l , м	a , м	b , см	h , см	k
1	0,8	0,2	3,0	10	0,2
2	1,0	0,3	4,0	8	0,4
3	1,2	0,4	5,0	10	0,3
4	1,4	0,6	6,0	12	0,25
5	1,6	0,8	7,0	16	0,4
6	1,8	1,0	8,5	14	0,35
7	2,0	1,0	9,0	16	0,25
8	2,2	1,0	9,5	21	0,4
9	2,4	0,8	3,5	10	0,4
10	2,6	0,6	4,5	12	0,35
11	2,8	0,4	5,5	16	0,3
12	3,0	0,2	6,5	18	0,4
13	3,0	0,2	7,5	10	0,4
14	2,8	0,3	8,0	15	0,3
15	2,6	0,4	9,0	10	0,25
16	2,4	0,5	3,5	12	0,3
17	2,2	0,6	4,5	10	0,4
18	2,0	0,7	5,0	12	0,3
19	1,8	0,8	6,5	14	0,25
20	1,6	1,0	7,5	16	0,35
21	1,4	0,7	8,0	14	0,4
22	1,2	0,9	9,5	15	0,35
23	1,0	0,8	5,4	12	0,2
24	0,8	1,0	5,0	14	0,4
25	0,9	0,8	5,6	16	0,35
26	1,2	0,6	8,5	14	0,35
27	1,4	0,9	9,0	14	0,4
28	1,4	1,0	7,5	18	0,2
29	2,0	0,7	8,5	12	0,25
30	1,8	1,0	7,0	16	0,4

Таблица Б.8. Данные к задаче №7

№ варианта	P , кН	a , м	b , м	$[n]$	T_1 , град	T_2 , град	T_0 , град
1	4	0,5	0,25	1,5	20	40	25
2	5	0,55	0,3	1,6	30	20	10
3	6	0,6	0,35	1,7	40	20	15
4	7	0,65	0,4	1,8	50	10	20
5	8	0,7	0,45	1,9	60	20	10
6	9	1,75	0,5	2,0	25	15	20
7	10	1,8	0,6	2,1	35	45	30
8	11	1,85	0,55	2,2	45	65	25
9	12	0,85	0,65	2,3	55	25	15
10	13	0,95	0,55	2,4	65	35	10
11	14	1,0	0,65	1,4	-10	0	10
12	15	1,1	0,5	1,5	-20	10	15
13	16	1,15	0,55	1,6	-30	-10	20
14	15	1,2	0,45	1,7	-40	-20	10
15	15	1,1	0,5	1,8	-50	-30	0
16	14	1,0	0,55	1,9	-25	0	10
17	13	0,9	0,6	2,0	-35	-15	0
18	12	0,8	0,65	2,1	45	-20	5
19	11	0,7	0,7	2,2	-20	-10	-5
20	10	0,6	0,4	2,3	-10	0	10
21	9	0,5	0,3	2,2	60	20	10
22	8	0,4	0,25	2,1	50	10	15
23	7	0,8	0,2	2,0	40	20	25
24	6	0,5	0,4	1,9	20	10	0
25	5	0,5	0,25	1,8	30	0	10
26	4	0,55	0,3	1,7	-25	-35	15
27	5	0,6	0,35	1,6	-15	40	-5
28	6	0,65	0,4	1,5	40	-15	5
29	7	0,7	0,45	1,7	25	0	0
30	8	1,75	0,5	1,8	30	-25	20

Таблица Б.9. Данные к задаче №8

№ варианта	l_1 , м	l_2 , м	d , см	b , см	P , кН	k	$c = b/h,$ $c = d_0/d$
1	0,8	0,4	5	5,0	2	0,5	0,6
2	0,9	0,5	6	6,0	10	0,6	0,65
3	1,0	0,6	7	8,0	3	0,7	0,64
4	1,1	0,7	8	10,0	4	0,8	0,65
5	1,2	0,8	9	4,5	5	0,9	0,75
6	1,3	0,9	10	6,5	6	1,0	0,7
7	1,4	1,0	5	7,5	7	1,1	0,72
8	1,5	1,1	6	8,5	8	1,2	0,74
9	1,6	0,8	7	5,2	9	1,3	0,76
10	1,5	0,7	8	5,4	10	1,4	0,78
11	1,4	0,6	9	5,6	1,5	1,5	0,8
12	1,3	0,5	10	5,8	2,5	1,6	0,82
13	1,2	0,4	5	6,0	3,5	1,7	0,84
14	1,0	0,3	6	5,8	4,5	1,8	0,86
15	0,9	0,9	7	5,6	5,5	1,9	0,88
16	0,8	0,7	8	5,4	6,5	2,0	0,9
17	0,7	0,8	5	5,2	7,5	0,4	0,55
18	0,5	0,4	6	5,0	8,5	0,3	0,65
19	0,6	0,8	7	5,0	9,5	0,5	0,75
20	0,7	0,9	8	6,0	10,5	0,6	0,85
21	0,8	1,0	6	8,0	7	0,7	0,9
22	0,7	1,2	7	10,0	8	0,8	0,85
23	0,6	1,1	4	5,5	9	1,0	0,75
24	0,5	1,5	5	6,5	10	0,9	0,65
25	0,9	1,2	7	6,2	8	0,6	0,55
26	0,5	0,7	4	5,6	10,5	0,4	0,85
27	0,7	1,3	8	5,8	7	0,9	0,75
28	0,8	1,1	6	6,7	9	0,6	0,6
29	0,7	0,9	9	8,4	7,5	0,8	0,9
30	0,9	1,2	10	6,8	9	0,7	0,85

Таблица Б.10. Данные к задаче №9

№ варианта	Двутавр/швеллер, номер	Уголок равнобокий, номер	$[\sigma]$, МПа
1	40	8	150
2	16	9	160
3	33	10	170
4	30	12,5	180
5	16	14	190
6	10	16	200
7	36	20	150
8	27	5	160
9	24	6,3	170
10	30	7	180
11	12	8	190
12	33	9	200
13	20	10	190
14	12	12,5	180
15	20	14	170
16	10	16	160
17	24	18	150
18	14	5	200
19	40	8	190
20	16	9	160
21	22	10	170
22	12	14	180
23	16	16	200
24	16	20	190
25	14	18	150
26	27	16	170
27	16	14	150
28	12	10	180
29	18	9	190
30	20	8	200

Таблица Б.11. Данные к задаче №10

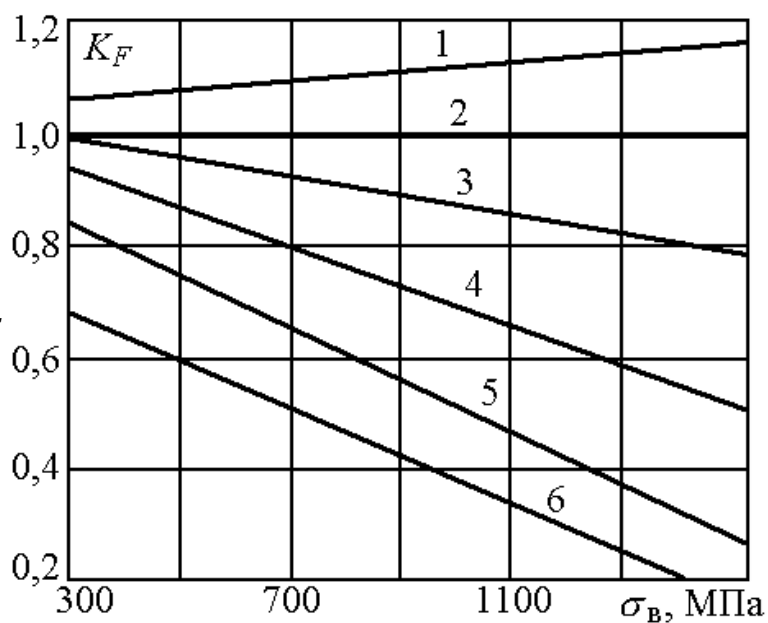
№ варианта	N, кВт	n_0 , об/мин	Сталь марки	Критерий прочности	γ	a, м	D_1 , м	D_2 , м
1	10	1000	10	Сен-Венана	0,5	1,1	0,35	0,20
2	20	1200	20	Мизеса	0,6	0,7	0,40	0,25
3	15	1500	30	Сен-Венана	0,7	1,3	0,20	0,30
4	14	1300	35	Мизеса	0,8	0,8	0,25	0,35
5	16	1400	40	Сен-Венана	1,2	0,9	0,35	0,40
6	12	1100	45	Мизеса	1,4	1,4	0,30	0,45
7	18	1000	50	Сен-Венана	1,5	1,0	0,40	0,35
8	20	1100	60	Мизеса	1,6	1,1	0,45	0,25
9	10	1200	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,20	0,20
10	17	1300	30	Мизеса	0,8	1,6	0,30	0,30
11	15	1400	35	Сен-Венана	0,5	1,7	0,25	0,4
12	13	1500	50	Мизеса	1,0	1,2	0,35	0,20
13	18	1600	45	Сен-Венана	1,5	1,4	0,30	0,25
14	14	1000	30	Мизеса	1,4	1,6	0,35	0,30
15	20	1100	10	Сен-Венана	1,2	1,3	0,45	0,45
16	14	1200	20	Мизеса	0,5	1,5	0,20	0,20
17	16	1300	30	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
18	10	1400	35	Мизеса	1,4	1,0	0,30	0,30
19	20	1500	40	Сен-Венана	1,2	1,6	0,35	0,35
20	25	1600	45	Мизеса	1,1	1,4	0,40	0,40
21	15	1200	50	Сен-Венана	0,7	1,5	0,45	0,45
22	22	1100	30	Мизеса	0,8	1,3	0,35	0,35
23	24	1200	20	Сен-Венана	0,6	1,2	0,25	0,25
24	17	1300	40	Мизеса	0,9	1,1	0,20	0,20
25	19	1400	45	Сен-Венана	1,4	1,0	0,30	0,30
26	13	1200	30	Мизеса	1,5	1,2	0,4	0,6
27	17	1000	35	Сен-Венана	0,5	1,6	0,20	0,25
28	19	1700	40	Мизеса	0,6	1,4	0,25	0,30
29	20	1600	10	Сен-Венана	0,7	1,5	0,30	0,35
30	10	1300	60	Мизеса	0,8	1,3	0,35	0,40

ПРИЛОЖЕНИЕ В. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Таблица В.1. Механические характеристики стали

Марка стали	σ_B , 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

Рисунок В.1.
Коэффициент
состояния
поверхности K_F
в зависимости
от предела
прочности σ_B
Кривые 1 – 6
соответствуют
следующим
случаям



обработки поверхности:

- 1,2 - полированная и шлифованная поверхности;
- 3 - поверхность, обработанная резцом;
- 4 - поверхность с мелкой насечкой;
- 5 - поверхность, необработанная после прокатки;
- 6 - поверхность, корродированная в пресной воде.

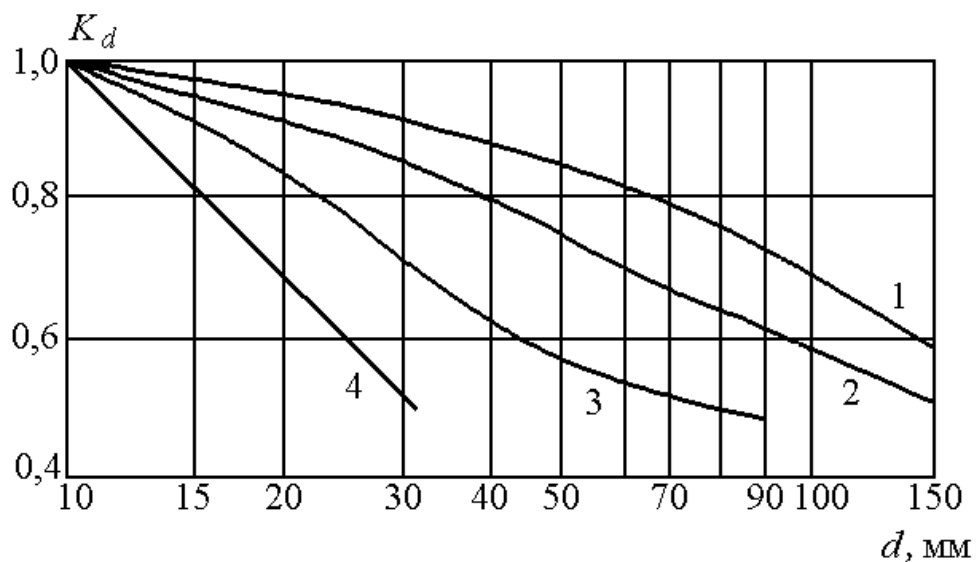


Рисунок В.2. Масштабный коэффициент K_d в зависимости от диаметра детали

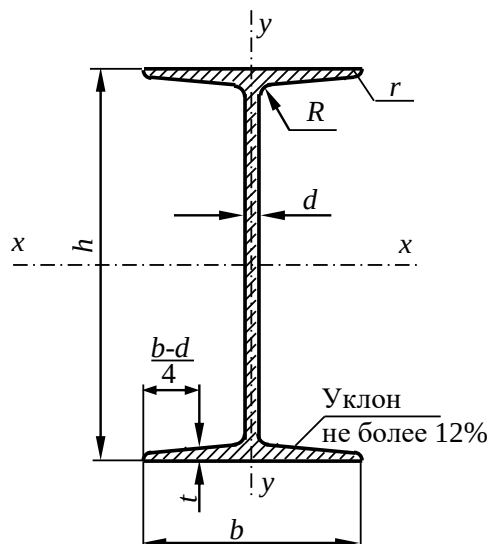
Кривые построены для следующих случаев: **1** - углеродистая сталь при отсутствии концентрации напряжений; **2** - легированная сталь при отсутствии концентрации напряжений, углеродистая сталь при умеренной концентрации напряжений; **3** - легированная сталь при умеренной концентрации напряжений; **4** - сталь при высокой концентрации напряжений

Таблица В.2. Эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ

Предел прочности σ_B , МПа	400	500	600	700	800	900	1000
K_σ	1,75	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ТАБЛИЦЫ СОРТАМЕНТОВ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Таблица Г. 1. Сталь горячекатаная. Балки двутавровые (ГОСТ 8239–89)

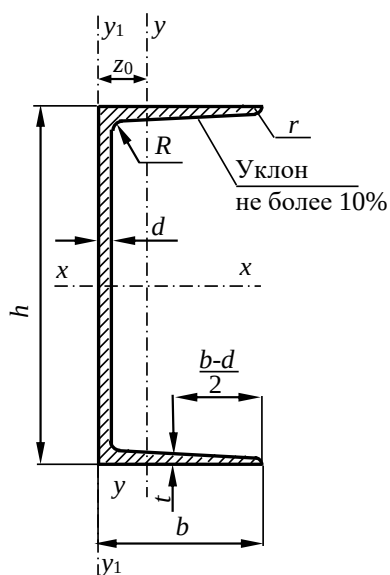


Обозначения:

h – высота балки;
 b – ширина полки;
 d – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления;
 J – момент инерции;
 W – момент сопротивления;
 S – статический момент полусечения;
 i – радиус инерции;
 r – радиус закругления полки

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

Таблица Г. 2. Сталь горячекатаная. Швеллеры (ГОСТ 8240–97)

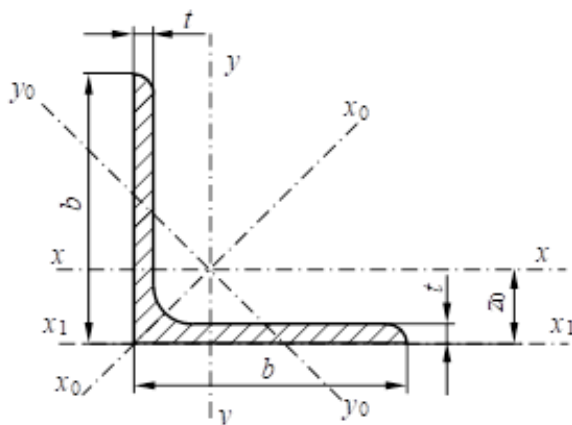


Обозначения:

h – высота балки;
 b – ширина полки;
 d – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки;
 R – радиус внутреннего закругления;
 J – момент инерции;
 W – момент сопротивления;
 S – статический момент полусечения;
 i – радиус инерции;
 r – радиус закругления полки;
 z_0 – расстояние от оси $y - y$ до наружной грани стенки

Номер балки	h , мм	b , мм	d , мм	t , мм	Площадь сечения, см^2	Масса 1 м, кг	J_x , см^4	W_x , см^3	i_x , см	S_x , см^3	J_y , см^4	W_y , см^3	i_y , см	z_0 , см
5	50	32	4,4	7	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	5,9	48,6	15	2,54	9	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,9	8,59	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,3	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,6	12,3	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67
14a	140	62	4,9	8,7	17	13,3	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87
16	160	64	5	8,4	18,1	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
16a	160	68	5	9	19,5	15,3	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2
18	180	70	5,1	9,7	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	17,4	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9	23,4	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	19,8	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28
22	220	82	5,4	9,5	26,7	21	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	10	28,8	22,6	2330	212	8,99	121	187	30	2,55	2,46
24	240	90	5,6	10	30,6	24	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42
24a	240	95	5,6	11	32,9	25,8	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,79	2,67
27	270	95	6	11	35,2	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11	40,5	31,8	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	12	46,5	36,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	13	53,4	41,9	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,1	2,68
40	400	115	8	14	61,5	48,3	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

Таблица Г. 3. Сталь прокатная угловая равнополочная (ГОСТ 8509–93)



Обозначения:

b – ширина полки;

t – толщина полки;

J – момент инерции;

i – радиус инерции;

z_0 – расстояние от центра тяжести до наружной грани полки

Номер уголка	b , мм	t , мм	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м уголка, кг	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0\max}$, см ⁴	$i_{x_0\max}$, см	$J_{y_0\min}$, см ⁴	$i_{y_0\min}$, см	z_0 , см
2	20	3	1,13	0,89	0,4	0,59	0,63	0,75	0,17	0,39	0,6
		4	1,46	1,15	0,5	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	0,64
2,5	25	3	1,43	1,12	0,81	0,75	1,29	0,95	0,34	0,49	0,73
		4	1,86	1,46	1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	0,76
2,8	28	3	1,62	1,27	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	0,80
3	30	3	1,74	1,36	1,45	0,91	2,3	1,15	0,6	0,59	0,85
		4	2,27	1,78	1,84	0,8	2,92	1,13	0,77	0,58	0,89
3,2	32	3	1,86	1,46	1,77	0,97	2,8	1,23	0,74	0,63	0,89
		4	2,43	1,91	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	0,94
3,5	35	3	2,04	1,6	2,35	1,07	3,72	1,35	0,97	0,69	0,97
		4	2,17	2,1	3,01	1,06	4,76	1,33	1,25	0,68	1,01
		5	3,28	2,58	3,61	1,05	5,71	1,32	1,52	0,68	1,05
4	40	3	2,35	1,85	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	1,09
		4	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,9	0,78	1,13
		5	3,79	2,98	5,53	1,21	8,75	1,52	2,3	0,78	1,17
4,5	45	3	2,65	2,08	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	1,21
		4	3,48	2,73	6,63	1,38	10,52	1,74	2,74	0,89	1,26
		5	4,29	3,37	8,03	1,37	12,74	1,72	3,33	0,88	1,3
5	50	3	2,96	2,32	7,11	1,55	11,27	1,95	2,95	1,0	1,33
		4	3,89	3,05	9,21	1,54	14,63	1,94	3,8	0,99	1,38
		5	4,8	3,77	11,2	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	1,42
		6	5,69	4,47	13,07	1,52	20,72	1,91	5,43	0,98	1,46
5,6	56	4	4,38	3,44	13,1	1,73	20,79	2,18	5,41	1,11	1,52
		5	5,41	4,25	15,97	1,72	25,36	2,16	6,59	1,1	1,57
6	60	4	4,72	3,71	16,21	1,85	25,69	2,33	6,72	1,19	1,62
		5	5,83	4,58	19,79	1,84	31,4	2,32	8,18	1,18	1,66
		6	6,92	5,43	23,21	1,83	36,81	2,31	9,6	1,18	1,70
		8	9,04	7,1	29,55	1,81	46,77	2,27	12,34	1,17	1,78
		10	11,08	8,7	35,32	1,79	55,64	2,24	15	1,16	1,85
6,3	63	4	4,96	3,9	18,86	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	1,69
		5	6,13	4,81	23,1	1,94	36,8	2,44	9,52	1,25	1,74
		6	7,28	5,72	27,06	1,93	42,91	2,43	11,18	1,24	1,78
Номер уголка	b , мм	t , мм	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м уголка, кг	J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0\max}$, см ⁴	$i_{x_0\max}$, см	$J_{y_0\min}$, см ⁴	$i_{y_0\min}$, см	z_0 , см

7	70	4,5	6,2	4,87	29,04	2,16	46,03	2,72	12,04	1,39	1,88
		5	6,86	5,38	31,94	2,16	50,67	2,72	13,22	1,39	1,90
		6	8,15	6,39	37,58	2,15	59,64	2,71	15,52	1,38	1,94
		7	9,42	7,39	42,98	2,14	68,19	2,69	17,77	1,37	1,99
		8	10,67	8,37	48,16	2,12	76,35	2,68	19,97	1,37	2,02
7,5	75	5	7,39	5,8	39,53	2,31	62,65	2,91	16,41	1,49	2,02
		6	8,78	6,89	46,57	2,3	73,87	2,9	19,28	1,48	2,06
		7	10,15	7,96	53,34	2,29	84,61	2,89	22,07	1,47	2,1
		8	11,5	9,02	59,84	2,28	94,89	2,87	24,8	1,47	2,15
		9	12,83	10,07	66,1	2,27	104,72	2,86	27,48	1,46	2,18
8	80	5,5	8,63	6,78	52,68	2,47	83,56	3,11	21,8	1,59	2,17
		6	9,38	7,36	56,97	2,47	90,4	3,11	23,54	1,58	2,19
		7	10,85	8,51	65,31	2,45	103,6	3,09	26,97	1,58	2,23
		8	12,3	9,65	73,36	2,44	116,39	3,08	30,32	1,57	2,27
9	90	6	10,61	8,33	82,1	2,78	130	3,5	33,87	1,79	2,43
		7	12,28	9,64	94,3	2,77	149,67	3,49	38,94	1,78	2,47
		8	13,93	10,93	106,1	2,76	168,42	3,48	43,8	1,77	2,51
		9	15,6	12,2	118	2,75	186	3,46	48,6	1,77	2,55
10	100	6,5	12,82	10,06	122,1	3,09	193,46	3,89	50,73	1,99	2,68
		7	13,75	10,79	130,6	3,08	207,01	3,88	54,16	1,98	2,71
		8	15,6	12,25	147,2	3,07	233,46	3,87	60,92	1,98	2,75
		10	19,24	15,1	179	3,05	283,83	3,84	74,08	1,96	2,83
		12	22,8	17,9	208,9	3,03	330,95	3,81	86,84	1,95	2,91
		14	26,28	20,63	237,2	3,0	374,98	3,78	99,32	1,94	2,99
		16	29,68	23,3	263,8	2,98	416,04	3,74	111,61	1,94	3,06
11	110	7	15,15	11,89	175,6	3,4	278,54	4,29	72,68	2,19	2,96
		8	17,2	13,5	198,2	3,39	314,51	4,28	81,83	2,18	3,0
12	120	8	18,8	14,76	259,8	3,72	412,45	4,68	107,04	2,39	3,25
		9	23,24	18,24	317,2	3,69	503,79	4,66	130,54	2,37	3,33
		10	27,6	21,67	371,8	3,67	590,28	4,62	153,33	2,36	3,41
		15	33,99	26,68	448,9	3,63	711,32	4,57	186,48	2,34	3,53
12,5	125	8	19,69	15,46	294,4	3,87	466,76	4,87	121,98	2,49	3,36
		9	22	17,3	327,5	3,86	520,0	4,86	135,88	2,48	3,4
		10	24,33	19,1	359,8	3,85	571,04	4,84	148,59	2,47	3,45
		12	28,89	22,68	422,2	3,82	670,02	4,82	174,43	2,46	3,53
		14	33,37	26,2	481,8	3,8	763,9	4,78	199,62	2,45	3,61
		16	37,77	29,65	538,6	3,78	852,84	4,75	224,29	2,44	3,68
14	140	9	24,72	19,41	465,7	4,34	739,42	5,47	192,03	2,79	3,78
		10	27,33	21,45	512,3	4,33	813,62	5,46	210,96	2,78	3,82
		12	32,49	25,5	602,5	4,31	956,98	5,43	248,01	2,76	3,9

Номер уголка	b, мм	t, мм	Площадь сечения, см ²	Масса 1 м уголка, кг	J _x , см ⁴	i _x , см	J _{x0max} , см ⁴	i _{x0max} , см	J _{y0min} , см ⁴	i _{y0min} , см	z ₀ , см
15	150	10	29,33	23,02	634,8	4,65	1008,56	5,86	260,97	2,98	4,07
		12	34,89	27,39	747,5	4,63	1187,86	5,83	307,09	2,97	4,15

		15	43,08	33,82	908,4	4,59	1442,6	5,79	374,17	2,95	4,27
		18	51,09	40,11	1060	4,56	1680,92	5,74	438,24	2,93	4,38
16	160	10	31,43	24,67	774,2	4,96	1229,1	6,25	319,38	3,19	4,3
		11	34,42	27,02	844,2	4,95	1340,06	6,24	347,77	3,18	4,35
		12	37,39	28,35	912,9	4,94	1450	6,23	357,78	3,17	4,39
		14	43,57	33,97	1046	4,92	1662,13	6,2	430,81	3,16	4,47
		16	49,07	38,52	1175	4,89	1865,73	6,17	484,64	3,14	4,55
		18	54,79	43,01	1290	4,87	2061,03	6,13	537,46	3,13	4,63
		20	60,4	47,44	1419	4,85	2248,26	6,1	589,43	3,12	4,7
18	180	11	38,8	30,47	1216	5,6	1933,1	7,06	499,78	3,59	4,85
		12	42,19	33,12	1317	5,59	2092,78	7,04	540,45	3,58	4,89
20	200	12	47,1	36,97	1823	6,22	2896,16	7,84	749,4	3,99	5,37
		13	50,85	39,92	1961	6,21	3116,18	7,83	805,35	3,98	5,42
		14	54,6	42,8	2097	6,2	3333	7,81	861	3,97	5,46
		16	61,98	48,65	2363	6,17	3755,39	7,78	969,74	3,96	5,54
		20	76,54	60,08	2871	6,12	4560,42	7,72	1181,92	3,93	5,7
		25	94,29	74,02	3466	6,06	5494,04	7,63	1438,38	3,91	5,89
		30	111,54	87,56	4020	6	6351,05	7,55	1698,16	3,89	6,07
22	220	14	60,38	47,4	2814	6,83	4470,15	8,6	1158,56	4,38	5,91
		16	68,58	53,83	3175	6,8	5045,37	8,58	1305,52	4,36	6,02
25	250	16	78,4	61,55	4717	7,76	7492,1	9,78	1942,09	4,98	6,75
		18	87,72	68,86	5247	7,73	8336,69	9,75	2157,78	4,96	6,83
		20	96,96	76,11	5765	7,71	9159,73	9,72	2370,01	4,94	6,91
		22	106,12	83,31	6270	7,09	9961,6	9,69	2579,04	4,93	7,0
		25	119,71	93,97	7006	7,65	11125,5	9,64	2887,26	4,91	7,11
		28	133,12	104,5	7717	7,61	12243,8	9,59	3189,89	4,9	7,23
		30	141,96	111,44	8177	7,59	12964,7	9,56	3388,98	4,89	7,31

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА СЕМЕСТРА

Таблица Д.1. Технологическая карта семестра

Недели	Лекции	Темы практических занятий	Выполнение задач КП(РЗ)
1	Внутренние силы, напряжения. Виды деформации стержней.	Расчет фермы. Статически определимые системы при растяжении (сжатии).	Выдача заданий ч.І
2	Растяжение (сжатие). Закон Гука.	Статически неопределимые системы при растяжении (сжатии).	№1
3	Статически неопределимые стержневые системы при растяжении (сжатии).	Определение температурных и монтажных усилий в стержнях.	№ 2
4	Кручение стержней кругового сечения.	Расчеты при кручении. Контрольная работа (1 час)	№3
5	Кручение стержней прямоугольного сечения. Расчет пружин.	Расчет пружин.	№ 4
6	Геометрические характеристики сечений. Изгиб стержней.	Изгиб балок. Расчеты на прочность.	№ 5
7	Напряжения при изгибе. Расчеты на прочность.	Контрольная работа. Защита ч.І	Сдача ч.І. Выдача заданий ч.ІІ
8	Перемещения при изгибе. Универсальное уравнение упругой кривой.	Перемещения при изгибе. Универсальное уравнение упругой кривой.	№ 6.1-3
9	Формулы Максвелла-Мора, Симпсона. Температурные напряжения при изгибе.	Расчет плоских рам.	№6.4
10	Косой изгиб. Внецентренное растяжение (сжатие).	Определение перемещений в плоских рамах.	№ 7.1-3
11	Нейтральная линия. Сочетание изгиба с кручением.	Косой изгиб, внецентренное растяжение-сжатие	№7.4
12	Расчеты на выносливость. Кривая усталости Веллера.	Сочетание изгиба с кручением. Контрольная работа (1 час)	№ 8
13	Диаграмма Хейга. Расчет вращающегося вала.	Расчеты на выносливость.	№ 9
14	Тензор напряжений. Обобщенный закон Гука.	Расчет вращающегося вала.	№ 10
15	Потенциальная энергия упругой деформации.	Контрольная работа. Защита ч.ІІ.	Сдача ч.ІІ
16	Критерии прочности Сен-Венана, Мизеса, Мора.	Зачетное занятие	

Учебное издание

Хроматов Василий Ефимович
Новикова Ольга Валерьевна
Бесова Анастасия Вячеславовна
Позняк Елена Викторовна
Догадина Татьяна Николаевна
Волоховский Василий Юрьевич

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Редактор издательства
Компьютерная верстка

Темплан издания МЭИ 2022

Печать офсетная Формат 60х84/16

Изд. № Заказ

Подписано в печать

Физ. печ. л. Тираж 100

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».

111250, Москва, Красноказарменная, д.14

Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».

111250, Москва, Красноказарменная, д.13