

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Тольяттинский государственный университет

Кафедра «Материаловедение и механика материалов»

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТУДЕНТА
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

Часть II

Модульная система обучения (модули № 7-11)

Методическое пособие для студентов
в рамках технологии 30/70

Тольятти 2006

УДК 539.3/6
ББК 30.121
М 34

Авторы-составители: к.т.н., доцент Т.Ф. Гаврилова,
канд.физ.-мат.наук, доцент Е.П. Гордиенко, к.т.н., доцент А.А. Разуваев

Под общей редакцией докт.физ.-мат.наук, профессора Д.Л. Мерсона

М34 Материалы для студента по дисциплине «Сопротивление материалов». Ч. II. Модульная система обучения (модули № 7-11): Методическое пособие для студентов в рамках технологии 30/70 / сост.: Т.Ф. Гаврилова, Е.П. Гордиенко, А.А. Разуваев; под ред. Д.Л. Мерсона. – Тольятти : ТГУ, 2006. – 57 с.

Методическое пособие предназначено для оказания помощи студентам в организации самостоятельной работы при изучении дисциплины «Сопротивление материалов» в рамках технологии 30/70 (часть II – 2-й семестр).

Дано описание модульной конструкции дисциплины, представлены: технологическая карта дисциплины, алгоритмы работы в каждом модуле, рейтинговая система оценки знаний, методическое обеспечение модулей (по содержанию 2-го семестра обучения).

Пособие дает студенту полные сведения о содержании и последовательности изучения курса «Сопротивление материалов», формах аудиторной и самостоятельной работы, требованиях к знаниям и умениям, формах отчетности. Позволяет планировать и прогнозировать результаты процесса обучения.

Утверждено научно-методическим советом университета.

© Тольяттинский государственный университет, 2006

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Методическое обеспечение модулей № 7-11	7
Модуль №7. Статически неопределимые системы. Метод сил. Приложение к трем простым видам деформации: растяжение-сжатие, изгиб, кручение	7
Теоретический материал	7
Требования к знаниям и умениям	8
Схема самостоятельной работы в модуле	8
Алгоритм метода сил	9
Практическое занятие №8. Расчет статически неопределимых систем при растяжении-сжатии	9
Практическое занятие №9. Расчет статически неопределимых систем при изгибе	10
Лабораторно-практическое занятие №6. Определение момента защемления однопролетной статически неопределимой балки	11
Расчетно-проектировочная работа №4. Расчет статически неопределимых систем методом сил	12
Вариант контрольного теста	15
Модуль №8. Основы теории напряженно-деформированного состояния. Теории предельного состояния. Общий случай нагружения	18
Теоретический материал	18
Требования к знаниям и умениям	19
Схема самостоятельной работы в модуле	20
Алгоритм расчета на прочность в условиях сложного сопротивления	20
Практическое занятие №10. Расчет на прочность в условиях сложного сопротивления	21
Лабораторно-практическое занятие №7. Определение перемещений свободного конца ломаного бруса	22
Расчетно-проектировочная работа №5. Расчет на прочность при сложном сопротивлении	22
Вариант контрольного теста	23
Модуль №9. Устойчивость сжатых стержней	25
Теоретический материал	25
Требования к знаниям и умениям	25
Схема самостоятельной работы в модуле	26
Алгоритм проектировочного расчета на устойчивость с использованием коэффициента продольного изгиба	27
Практическое занятие №11. Расчет сжатых стоек на устойчивость	28
Расчетно-проектировочная работа №6. Задача 6.1. Расчет сжатых стержней на устойчивость	29
Вариант контрольного теста	31
Модуль №10. Выносливость	33
Теоретический материал	33
Требования к знаниям и умениям	34
Схема самостоятельной работы в модуле	34
Практическое занятие №12. Расчет на прочность при повторно-переменных нагрузках	35
Расчетно-проектировочная работа №6. Задача 6.2. Расчет на прочность при повторно-переменных нагрузках	36
Вариант контрольного теста	39
Модуль №11. Колебания. Удар	41
Теоретический материал	41
Требования к знаниям и умениям	42
Схема самостоятельной работы в модуле	42
Практическое занятие №13. Расчет на прочность подмоторных балок	43
Практическое занятие №14. Расчет упругих систем в условиях ударного воздействия	44
Расчетно-проектировочная работа №6. Задача 6.3. Расчет на прочность и жесткость балки при поперечном ударе	45

Вариант контрольного теста	48
Приложения	51
Приложение 1	51
Приложение 2	52
Приложение 3	53
Приложение 4	54
Приложение 5	55
Приложение 6	56

Введение

Настоящее Пособие предназначено для оказания помощи студентам в организации самостоятельной работы при изучении курса «Соппротивление материалов» (СМ) в условиях сокращенного числа часов аудиторной нагрузки и увеличения объема самостоятельной работы.

Продолжительность изучения дисциплины – 2 семестра. Используется модульная система обучения. Весь материал разбит на 11 модулей. Первые 6 модулей изучаются в первом семестре (Часть I Пособия), форма отчетности – зачет. Остальные 5 модулей, соответственно, во втором семестре (Часть II Пособия), форма отчетности – экзамен.

Технология изучения дисциплины «Соппротивление материалов» опирается на следующие понятия:

1. **Технологическая карта дисциплины** (см. Приложение 1, стр. 49 Пособия) – своеобразный путеводитель для студента, обеспечивающий прозрачность и понятность содержания и последовательности изучения данной дисциплины.
2. **Характеристика модуля.** Модуль – логически завершенная часть дисциплины. Набор элементов модуля:
 - установочная лекция
 - практическое занятие
 - лабораторное занятие
 - выполнение индивидуальной расчетно-проектировочной работы (РПР)
 - групповые и индивидуальные консультации с тьютором
 - тестирование

Модули дисциплины «Соппротивление материалов» по объему и по набору элементов неравнозначны, однако, процесс обучения в каждом модуле – единый (см. Алгоритм работы студента в модуле).

3. **Алгоритм работы студента в модуле** (см. Приложение 2, стр. 50 Пособия) представляет технологию обучения внутри каждого модуля.

В процессе обучения в модуле студент должен набрать за предусмотренные виды работ определенное количество баллов (не менее 60% от максимально возможного) для того, чтобы быть допущенным к тестированию по данному модулю. Виды отчетных работ и назначенное за них количество баллов приведены в Приложении 3 «Система контроля и оценки знаний» (стр. 51 Пособия). Если набранное количество баллов меньше 60%, то студент к тестированию по данному модулю не допускается, автоматически получает за него «0» баллов, но допускается к обучению в следующем модуле.

Знание алгоритма позволяет студенту планировать и корректировать свою работу с учетом известной системы оценочных баллов.

4. **Оценка уровня знаний** студента по дисциплине основана на принципе *разделения процессов обучения и контроля*. Первые пять элементов модуля, перечисленные в п.2, обеспечивают процесс обучения, шестой элемент (тестирование) обеспечивает процесс контроля уровня знаний.

Таким образом, процесс оценивания уровня знаний осуществляется тестированием, которое проводится в конце изучения каждого модуля с помощью компьютерных программ в специально созданном автономном Центре Тестирования (ЦТ).

В основу оценки уровня знаний студента заложен принцип накопительного рейтинга в течение семестра и дополнительно в период сессии. Рейтинг студента по дисциплине складывается из суммы баллов, набранных по каждому тесту, хранится в ЦТ и вывешивается на сайте дисциплины. Максимальное количество баллов, которое может набрать студент при тестировании по одному модулю, в том числе и по итоговому тестированию, равно **100 (сто)**.

Оценка, проставляемая в зачетную или экзаменационную ведомость, определяется отношением суммы баллов, набранной по всем тестам (рейтингу) к количеству модулей, изучаемых в данном семестре, согласно следующей шкале:

Пределы (в баллах)	Оценка
0 – 39	неудовлетворительно
40 – 59	удовлетворительно
60 – 79	хорошо
80 – 100	отлично

5. Ликвидация задолженности студента по дисциплине осуществляется по следующим правилам.

Если оценка студента, полученная в результате накопительного рейтинга, является «неудовлетворительной», то студент направляется на прохождение итогового тестирования. В исключительных случаях, на итоговое тестирование направляется студент для повышения своей оценки с «удовлетворительно» на «хорошо» или «отлично». Итоговое тестирование проводится в ЦТ в течение сессии по расписанию.

Количество баллов, набранное студентом по итоговому тестированию, суммируется с его рейтингом, а оценка, получаемая студентом по дисциплине, является результатом деления общей суммы баллов на общее количество тестирований. При этом в общее количество тестирований включаются и те, на которые студент не был допущен.

Если в результате проведения итогового тестирования общая оценка остается неудовлетворительной, то студент имеет право получить дополнительные (платные) услуги по изучению дисциплины во внеучебное время. После окончания дополнительного обучения студент еще раз направляется на итоговое тестирование в ЦТ. Количество баллов, полученное за итоговое тестирование, суммируется с рейтингом студента. Оценка по дисциплине рассчитывается как отношение общего рейтинга к общему количеству тестирований (в том числе и тех, к которым он не был допущен), минус 1, согласно приведенной выше шкале.

Если и в этом случае студент получает «неуд», то он отчисляется из университета.

6. Методическое обеспечение модулей (см. ниже) представляет все материалы и требования к организации аудиторной и самостоятельной работы студентов в каждом модуле.

Итак, дорогой студент, - читай, изучай, выполняй... Удачи тебе!

Методическое обеспечение модулей № 7-11

Модуль №7.

Статически неопределимые системы. Метод сил. Приложение к трем простым видам деформации: растяжение-сжатие, изгиб, кручение

Теоретический материал

Базовые знания

- Понятие о статически определимых и статически неопределимых системах
- Построение эпюр ВСФ статически определимых систем при растяжении-сжатии, изгибе, кручении
- Геометрические характеристики плоских сечений
- Расчет на прочность и жесткость при растяжении-сжатии, изгибе, кручении

Источник

Модуль №1

«

Модуль №4

Модули №3, 5, 6

Перечень основных изучаемых вопросов

- Геометрически изменяемые и геометрически неизменяемые, статически определимые и статически неопределимые системы. Степень статической неопределимости. Основные и «лишние» связи. «Лишние» неизвестные. Внешняя и внутренняя статическая неопределимость
- Метод сил – метод раскрытия статической неопределимости:
 - ✓ Основная система, неоднозначность её выбора
 - ✓ Эквивалентная система
 - ✓ Условие эквивалентности
 - ✓ Система канонических уравнений метода сил (СКУМС)
 - ✓ Коэффициенты канонических уравнений: физический смысл и способ определения
 - ✓ Единичные и грузовая эпюры
 - ✓ Решение СКУМС
 - ✓ Учет дополнительных факторов воздействия (температура, неточность изготовления) при раскрытии статической неопределимости
- Суммарная эпюра моментов статически неопределимой системы
- Проверка правильности раскрытия статической неопределимости
- Учет симметрии при раскрытии статической неопределимости
- Расчеты на прочность и жесткость статически неопределимых систем

Источники информации для изучения

- Александров А.В.
- Писаренко Г.С. Учебник
- Ицкович Г.М.
- Писаренко Г.С. Справочник

Глава 9, §§9.1-9.3

Глава 14, §§90-92

Глава VII, §§20-24

Глава 13, §§13.1-13.2

Требования к знаниям и умениям

Что надо знать: Что такое статически неопределимая система сил, степень статической неопределимости. В чем заключается физическая сущность метода сил. Что такое исходная, основная и эквивалентная система. Что такое условие эквивалентности. Запись условия эквивалентности в виде системы канонических уравнений метода сил (СКУМС). Ограничения, накладываемые при образовании основной системы. Алгоритм метода сил. Физический смысл единичных и грузовых коэффициентов системы канонических уравнений. Что такое деформационная проверка и ее физический смысл. Как учитывается воздействие температурного фактора и неточности изготовления при составлении канонических уравнений.

Что надо уметь: Определять степень статической неопределимости. Реализовывать все пункты алгоритма метода сил: образовывать основную, эквивалентную системы, записывать условие эквивалентности в виде системы канонических уравнений метода сил (СКУМС). Определять коэффициенты СКУМС по методу Мора с учетом вида деформации, испытываемого элементами конструкции, проводить деформационную проверку. Учитывать воздействие дополнительных факторов: температурного и неточности изготовления. Записывать температурные коэффициенты с помощью интеграла Мора и вводить величины монтажных зазоров в канонические уравнения.

Схема самостоятельной работы в модуле

№ недели	Виды самостоятельной работы				
	1. Подготовка к практическим занятиям	2. Подготовка к лабораторным занятиям	3. Работа над РПП №4	4. Аналитическая работа с тьютором	5. Работа с ПК тренажерами
1.	Приготовить схемы к задачам 8.1 и 8.2 к п/з №8. Внимательно прочитать алгоритм метода сил.		Сделать задачу 4.1. Написать резюме тьютору	Сдача резюме по результатам работы. Обсуждение наиболее трудных моментов индивидуальной консультации. <u>По расписанию работы тьютора</u>	По расписанию Центра информационных технологий
2.	Приготовить схемы к задачам 9.1 и 9.2 к п/з №9. Еще раз повторить алгоритм метода сил. Уметь определять перемещение точек упругих систем при изгибе с помощью интеграла Мора.		Работать над задачей 4.2. Написать резюме о результатах работы тьютору.		
3.		Подготовиться к лабораторно-практической работе «Определение момента в защемлении однопролетной статически неопределимой балки»: прочитать теоретическую часть и порядок проведения работы.	Работать над задачей 4.2. Написать резюме о результатах работы тьютору.		
4.			Закончить работу над РПП		
5.				Сдача РПП №4	

Алгоритм метода сил

1. Образовать основную систему из исходной путем отбрасывания лишних связей и факторов внешнего воздействия. **ВНИМАНИЕ:** Основная система должна быть геометрически неизменяемой!
2. Образовать эквивалентную систему из основной путем замены отброшенных связей их неизвестными реакциями и приложением факторов внешнего воздействия.
3. Записать условие эквивалентности в виде системы канонических уравнений. **ВНИМАНИЕ:** Порядок системы должен быть равен степени статической неопределимости!
4. Определить коэффициенты системы, используя интеграл Мора.
5. Решить систему канонических уравнений метода сил относительно неизвестных.
6. Подставить значения неизвестных на эквивалентную систему и определить недостающие неизвестные силы с помощью уравнений статического равновесия.
7. Определить внутренние силовые факторы в рабочих элементах (или на рабочих участках) конструкции, при необходимости построив эпюры.
8. Провести деформационную проверку и убедиться в правильности раскрытия статической неопределимости. **ВНИМАНИЕ:** Допускаемая погрешность в деформационной проверке не должна превышать 3%!

Практическое занятие №8.

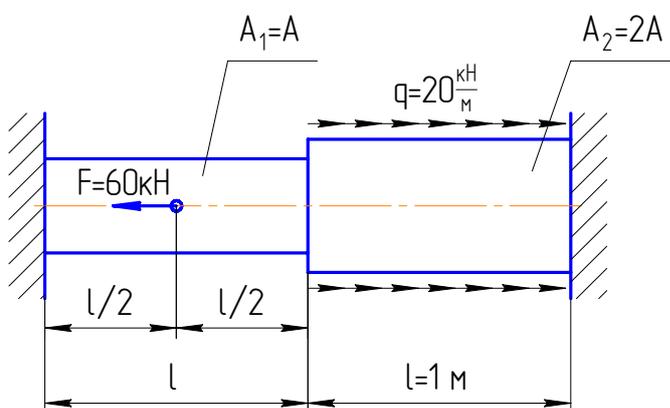
Расчет статически неопределимых систем при растяжении-сжатии

Задачи к практическому занятию №8

Для совместной работы на доске

Задача 8.1

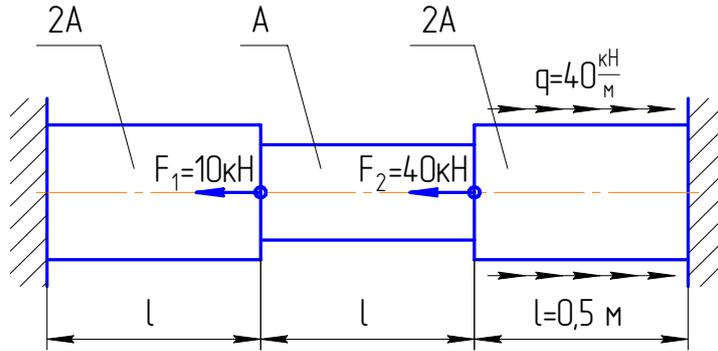
Двухступенчатый брус с жестко заземленными концами нагружен системой осевых нагрузок. Определить из условия прочности величину допускаемой площади поперечного сечения бруса $[A]$, если известна величина допускаемого напряжения $[\sigma]=160$ МПа. Определить, как изменится $[A]$, если брус дополнительно к воздействию нагрузок будет нагрет на величину $\Delta t=40^\circ\text{C}$, и если учесть, что брус изготовлен короче заданной длины на $\delta=0,01\%(\ell_1+\ell_2)$. Коэффициент линейного расширения $\alpha=1,25\times 10^{-5}$ $1/^\circ\text{C}$, модуль упругости $E=2\times 10^5$ МПа.



Для самостоятельной работы

Задача 8.2

Трехступенчатый брус с жестко зашеченными концами нагружен системой осевых нагрузок. Определить из условия прочности величину допускаемой площади поперечного сечения бруса [A], если известна величина допускаемого напряжения $[\sigma]=160$ МПа. Определить влияние на величину [A] монтажного напряжения, возникающего в результате учета неточности изготовления: брус изготовлен короче на величину $\delta=0,02\%(\ell_1+\ell_2+\ell_3)$. Модуль упругости $E=2 \times 10^5$ МПа.



Практическое занятие №9.

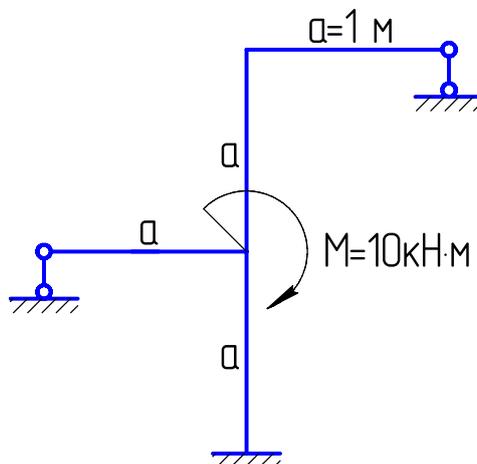
Расчет статически неопределимых систем при изгибе

Задачи к практическому занятию №9

Для совместной работы на доске

Задача 9.1

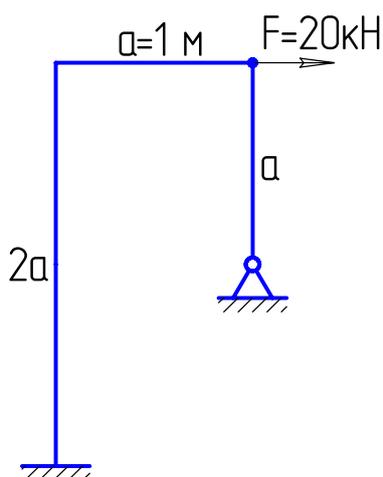
Для данной рамной конструкции подобрать из условия прочности в качестве поперечного сечения элементов двутавровый профиль, если жесткость сечений всех элементов одинакова $\left(\frac{EI_p}{EI_c}\right)=1$, $[\sigma]=160$ МПа. Определить горизонтальное перемещение узловых точек и построить примерный вид упругой линии рамы.



Для самостоятельной работы

Задача 9.2

Для данной рамной конструкции подобрать из условия прочности в качестве поперечного сечения элементов двутавровый профиль, если жесткость сечений всех элементов одинакова $\left(\frac{EI_p}{EI_c}\right) = 1$, $[\sigma] = 160$ МПа. Определить горизонтальное перемещение узловых точек и построить примерный вид упругой линии рамы.



Лабораторно-практическое занятие №6. Определение момента защемления однопролетной статически неопределимой балки

При подготовке к лабораторно-практическому занятию использовать методическую литературу: Расчеты статически неопределимых систем в условиях изгиба: Лабораторный практикум / Составители: Е.П. Гордиенко, И.Т. Каратеева, И.В. Котова. – Тольятти: ТГУ, 2005. – 47 с.

Расчетно-проектировочная работа №4. Расчет статически неопределимых систем методом сил

Задача 4.1. Расчет на прочность статически неопределимых стержней при растяжении-сжатии

На ступенчатый стальной брус круглого поперечного сечения с заданным соотношением площадей: $A_1=A$, $A_2=A/2$, $A_3=A/3$ (РПР №2, задача 2.1) установили на свободном конце вторую жесткую заделку (все остальные исходные данные – прежние: см. табл. 2.1, стр. 53 Пособия, ч.1).

Для полученного таким образом статически неопределимого стержня подобрать новые размеры поперечных сечений из условия прочности. Проанализировать влияние изменения жесткости стержня на его экономичность.

Проверить прочность статически неопределимого стержня при дополнительном действии температуры или при наличии неточности изготовления. Принять коэффициент линейного расширения $\alpha=1,25 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, модуль упругости $E=2 \times 10^5 \text{ МПа}$.

Исходные данные по дополнительному фактору взять из табл. 4.1, используя вторую и третью цифру варианта.

План решения

1. Раскрыть статическую неопределимость стержня методом сил.
2. Из условия прочности подобрать новые размеры поперечных сечений.
3. Сравнить статически определимый и статически неопределимый стержни по экономичности. Сделать вывод.
4. Определить дополнительные напряжения в стержне, возникающие от неточности изготовления (или от действия температуры).
5. Проверить выполнение условия прочности стержня при одновременном действии заданной нагрузки и дополнительного фактора.

Таблица 4.1

2-я цифра варианта		3-я цифра варианта		
№ вар.	Дополнительный фактор	№ вар.	δ , % от длины	Δt , град
0	Δt	0	+0,01	40
1	δ	1	-0,02	-20
2	Δt	2	-0,01	60
3	δ	3	+0,02	-40
4	Δt	4	-0,05	30
5	δ	5	+0,03	-60
6	Δt	6	+0,05	50
7	δ	7	-0,03	-30
8	Δt	8	+0,04	-35
9	δ	9	-0,04	20

Задача 4.2. Расчет на прочность и жесткость статически неопределимых рам

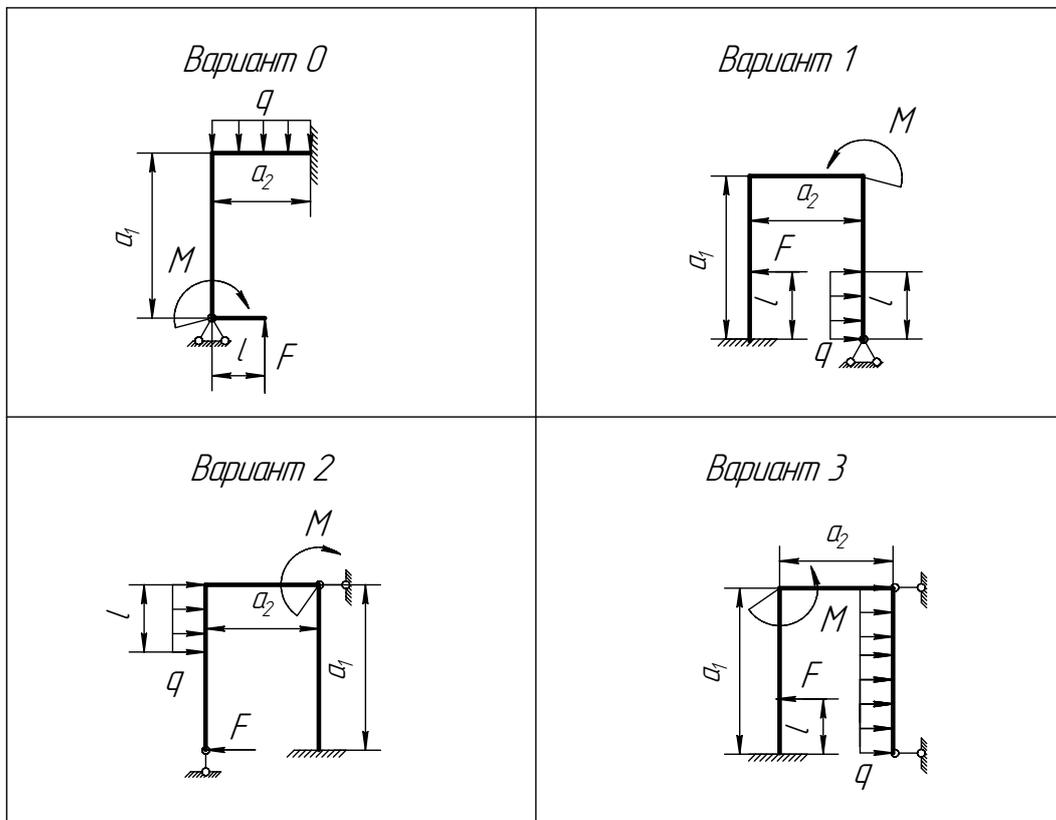
На статически определимой раме (РПР №1, задача 1.3, схема №3) установили дополнительные опоры (рис. 4.2, все остальные исходные данные – прежние: табл. 1.3 стр. 32 Пособия, ч.1). Материал стержня – Ст. 3: $[\sigma]=160$ МПа, $E=2 \cdot 10^5$ МПа. Жесткость сечений всех участков рамы постоянна: $EI_x=const$.

Для полученной таким образом статически неопределимой рамы подобрать рациональное поперечное сечение из условия прочности и проверить конструкцию на жесткость.

План решения

1. Раскрыть статическую неопределимость рамы методом сил.
2. Построить эпюры изгибающих моментов и продольных сил для заданной системы и провести проверку правильности решения.
3. Установить положение опасного сечения рамы и из условия прочности подобрать рациональное сечение.
4. Определить прогиб в месте предполагаемой наибольшей деформации, показав приближенный вид упругой линии рамы, и записать условие жесткости.
- 5*. Повторить п.3 для статически определимой рамы, сравнить результаты и сделать вывод о влиянии изменения жесткости рамы на ее экономичность.

Расчетные схемы статически неопределимых рам



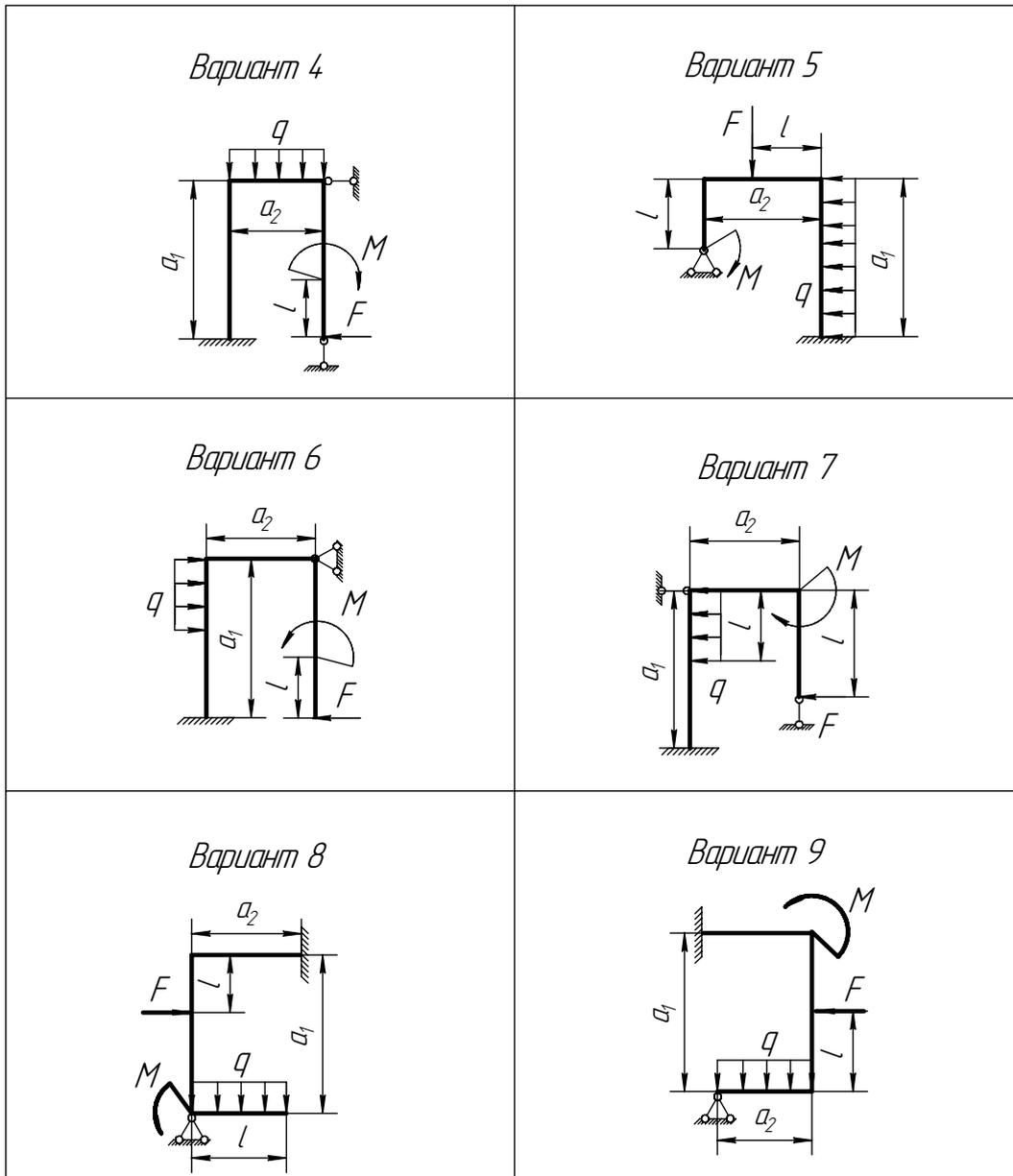


Рис. 4.2. Расчетные схемы статически неопределимых рам.

Вариант контрольного теста

Задание 1 (Добавьте ключевое слово)

При раскрытии статической неопределенности методом сил в системе канонических уравнений за неизвестные принимаются ... по направлению «лишних» связей

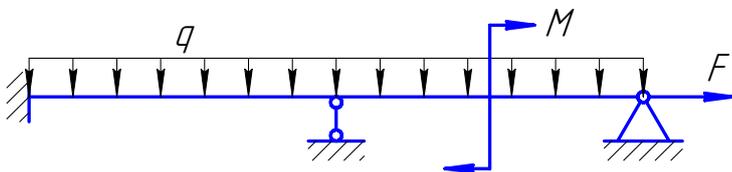
Задание 2 (Отметьте правильный ответ)

Математическое выражение деформационной проверки для статически неопределимой системы при изгибе имеет вид:

- $\sum_{k=1}^n \int_{l_k} \frac{M_{ik} \cdot M_{jk}}{EI_{xk}} dz_k = 0$
- $\sum_{k=1}^n \int_{l_k} \frac{M_{ik} \cdot M_k}{EI_{xk}} dz_k = 0$
- $\sum_{k=1}^n \int_{l_k} \frac{M_{ik} \cdot M_{Fk}}{EI_{xk}} dz_k = 0$
- $\sum_{k=1}^n \int_{l_k} \frac{M_{Fk} \cdot M_k}{EI_{xk}} dz_k = 0$

Задание 3 (Добавьте число)

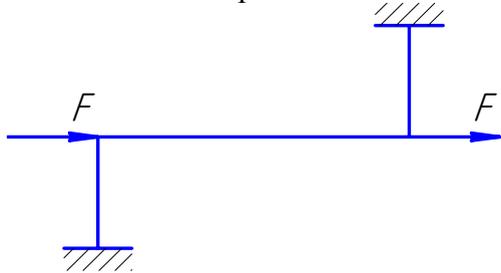
Статически неопределимая система



имеет степень статической неопределенности $S = \dots$

Задание 4 (Отметьте правильный ответ)

Статически неопределимая система:

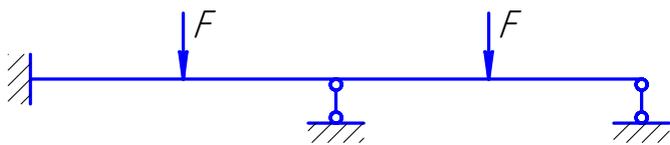


является ...

- симметричной системой с симметричной нагрузкой
- симметричной системой с кососимметричной нагрузкой
- кососимметричной системой с симметричной нагрузкой
- кососимметричной системой с кососимметричной нагрузкой

Задание 5 (Отметьте правильный ответ)

Для статически неопределимой балки:

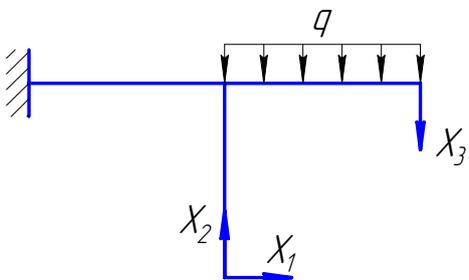


нельзя использовать в качестве основной системы следующую:

-
-
-
-

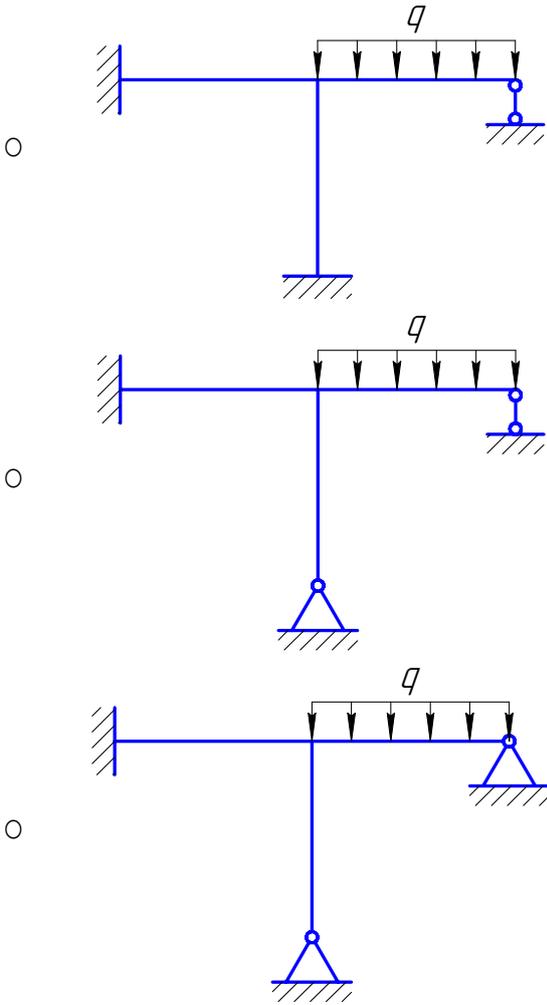
Задание 6 (Отметьте правильный ответ)

Эквивалентная система



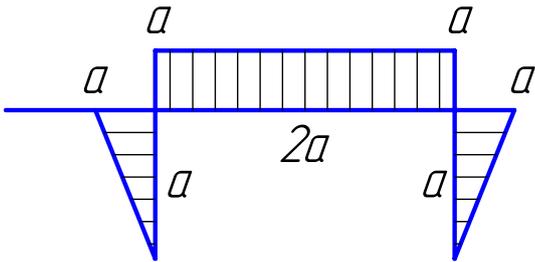
соответствует следующей исходной статически неопределимой системе:

-



Задание 7 (Отметьте правильный ответ)

Для единичной эпюры M_1 :



коэффициент системы канонических уравнений δ_{11} равен:

- $\frac{16a^3}{3EI}$
- $\frac{8a^3}{3EI}$
- $-\frac{16a^3}{3EI}$
- $\frac{4a^3}{3EI}$

Модуль №8.

Основы теории напряженно-деформированного состояния. Теории предельного состояния. Общий случай нагружения

Теоретический материал

Базовые знания

- Построение эпюр ВСФ на пространственных стержневых конструкциях
- Расчет на прочность и жесткость при растяжении-сжатии, изгибе, кручении

Источник

Модуль №1

Модули №3, 5, 6

Перечень основных изучаемых вопросов

- Основы теории напряженного и деформированного состояния
 - ✓ Понятие напряженного состояния в точке и его виды. Главные площадки и главные напряжения
 - ✓ Линейное напряженное состояние
 - ✓ Плоское напряженное состояние. Прямая и обратная задачи плоского напряженного состояния. Круг Мора
 - ✓ Понятие об объемном напряженном состоянии
 - ✓ Деформации при объемном напряженном состоянии. Обобщенный закон Гука. Объемная деформация
- Теории предельного состояния
 - ✓ Назначение теорий прочности
 - ✓ Основные понятия:
 - подобные напряженные состояния
 - предельное напряженное состояние
 - коэффициент запаса прочности напряженного состояния
 - равнопрочные напряженные состояния
 - эквивалентное напряженное состояние
 - ✓ Теории хрупкого разрушения (названия, формулировки критерия равнопрочности, рекомендации к применению)
 - ✓ Теории пластичности (названия, формулировки критерия равнопрочности, рекомендации к применению)
 - ✓ Теория прочности Мора (формулировка критерия равнопрочности, рекомендации к применению)
- Общий случай нагружения (изгиб с растяжением-сжатием и кручением)
 - ✓ Определение положения опасного сечения по эпюрам ВСФ
 - ✓ Определение вида деформации в опасном сечении
 - ✓ Определение положения опасной точки в опасном сечении
 - ✓ Определение вида напряженного состояния в опасной точке и выбор соответствующей теории прочности
 - ✓ Расчёт на прочность по выбранной теории прочности

Источники информации для изучения

- | | |
|---|--|
| ➤ Александров А.В. | Глава 13, §§13.1-13.7,
Глава 14 §§14.1-14.4 |
| ➤ Писаренко Г.С. Учебник | Глава 6, §§ 39-44,
Глава 7, §§ 47-50,
Глава 12, §§ 75-77 |
| ➤ Ицкович Г.М. | Глава III, §§ 7-8,
Глава X, §§ 31-34 |
| ➤ Писаренко Г.С. Справочник | Глава 5, §§ 5.1-5.5
Глава 6, §§ 6.1-6.2,
Глава 11, §§11.1-11.3 |
| ➤ Долинский Ф.В., Михайлов М.Н. Краткий курс сопротивления материалов. - М.: Высшая школа, 1988. - 432 с. | Глава IX, §§ IX.1- IX.5 |

Требования к знаниям и умениям

Что надо знать: Что такое напряженное состояние в точке нагруженного элемента конструкции. Понятие о главных напряжениях. Виды напряженного состояния в точке. Что такое прямая и обратная задачи О.-К. Мора, и как они решаются. Что такое деформированное состояние в точке. Понятие о главных деформациях. Математическую формулировку закона Гука для объемного деформированного состояния. Что такое теории предельного состояния и их назначение. Понятие об эквивалентном напряжении $\sigma_{\text{ЭКВ}}$. Математические выражения $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ для пяти классических теорий предельного состояния.

Что надо уметь: По условиям нагружения элемента конструкции определять положение опасного сечения и вид деформации в опасном сечении. Определять положение опасной точки в опасном сечении. Вид напряженного состояния в опасной точке. Соответственно виду напряженного состояния и в зависимости от механических свойств материала выбирать теорию предельного состояния для расчета эквивалентного напряжения.

Схема самостоятельной работы в модуле

№ недели	Виды самостоятельной работы				
	1. Подготовка к практическим занятиям	2. Подготовка к лабораторным занятиям	3. Работа над РПР №5	4. Аналитическая работа с тьютором	5. Работа с ПК тренажерами
6.	Приготовить схемы к задачам 10.1 и 10.2 к п/з №10		Построить эпюры ВСФ для заданной расчетной схемы. Рассчитать 1 и 2 элементы схемы. Написать резюме тьютору	Сдача резюме по результатам работы. Обсуждение наиболее трудных моментов темы. Получение индивидуальных консультаций. <u>По расписанию работы тьютора</u>	По расписанию Центра информационных технологий
7.		Ознакомиться с планом работы на л/з №7	Рассчитать 3 элемент схемы. Сделать выводы. Написать резюме тьютору		
8.				Сдача РПР №5	

Алгоритм расчета на прочность в условиях сложного сопротивления

1. Определение положения опасного сечения на элементе конструкции.
Рекомендации: Для реализации этого пункта постройте эпюры внутренних силовых факторов.
2. Определение вида деформации в опасном сечении.
Рекомендации: Необходимо учитывать сочетание внутренних силовых факторов и формы поперечного сечения.
3. Определение положения опасной точки в опасном сечении.
Рекомендации: При изгибе необходимо определить положение нейтральной линии, т.к. опасные точки находятся на максимальном удалении от нейтральной линии.
4. Определение вида напряженного состояния в опасной точке.
5. Выбор теории предельного состояния для определения эквивалентного напряжения в опасной точке и решение условия прочности.
Рекомендации: При выборе теории предельного состояния руководствоваться свойствами используемого материала (хрупкий или пластичный).

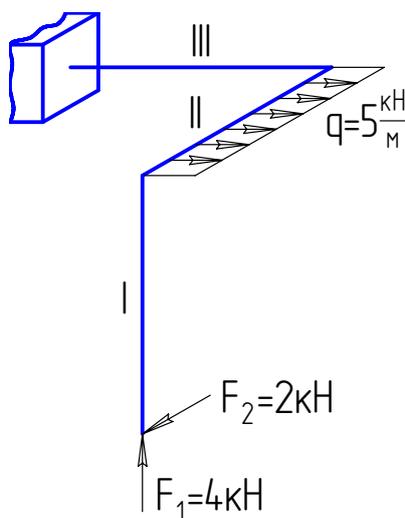
Практическое занятие №10. Расчет на прочность в условиях сложного сопротивления

Задачи к практическому занятию №10

Для совместной работы на доске

Задача 10.1

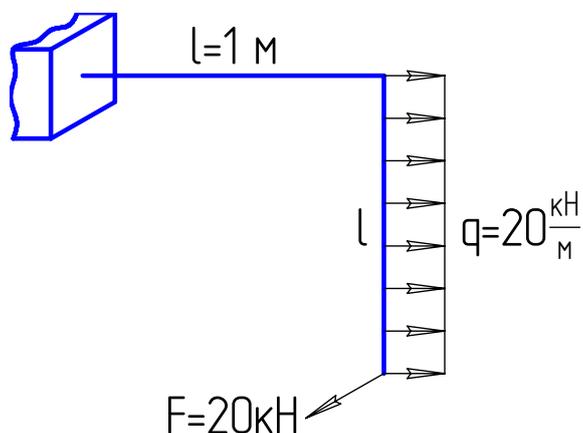
Для данной пространственной стержневой конструкции подобрать из условия прочности размеры поперечных сечений элементов. На элементе I – диаметр круглого поперечного сечения, на II и III элементах - размеры h и b прямоугольного сечения при условии, что II и III элементы изготовлены из прутка одного и того же сечения. Длина всех элементов пространственной конструкции одинакова и равна 1 м. Принять величину допускаемого напряжения $[\sigma] = 160$ МПа, отношение $h/b = 1,5$.



Для самостоятельной работы

Задача 10.2

Для данной консольной рамы, изготовленной из единого прутка прямоугольного сечения и нагруженной пространственной системой сил, подобрать из условия прочности размеры прямоугольного сечения h и b . Принять величину допускаемого напряжения $[\sigma] = 160$ МПа, $h/b = 2$.



Лабораторно-практическое занятие №7. Определение перемещений свободного конца ломаного бруса

При подготовке к лабораторно-практическому занятию использовать методическую литературу: Определение перемещений при изгибе статически определимых систем: Лабораторный практикум / Составители: Т.Ф. Гаврилова, И.В. Котова, В.А. Печенкина. – Тольятти: ТГУ, 2004. – 37 с.

Расчетно-проектировочная работа №5. Расчет на прочность при сложном сопротивлении

Задача 5.1.

Для стальной пространственной стержневой конструкции (РПР №1, задача 1.4, стр.38 Пособия, ч.1) требуется подобрать поперечные сечения элементов из условия прочности. Для элемента I подобрать диаметр круга, для элемента III – размеры прямоугольного сечения b и h (отношение h/b – взять из табл. 1.4, стр.38 Пособия, ч.1), предварительно рационально его расположив. Для элемента II провести проверку прочности, исходя из того, что II и III элементы изготовлены из единого прутка.

План решения

Для каждого элемента пространственной конструкции, используя построенные эпюры внутренних силовых факторов:

- 1) определить положение опасного сечения;
- 2) установить вид деформации в опасном сечении;
- 3) найти положение опасных точек в опасном сечении;
- 4) определить вид напряженного состояния в опасных точках;
- 5) записать условие прочности и определить размер поперечного сечения элемента (для II элемента провести проверку прочности), приняв $[\sigma] = 160$ МПа;
- 6)* выполнить пункт 5, используя сначала третью, а затем четвертую теории прочности. Провести сравнение результатов и сделать вывод.

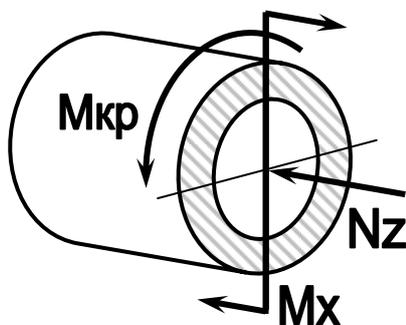
Вариант контрольного теста

Задание 1 (Отметьте правильный ответ)

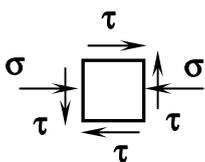
Напряженным состоянием в точке называют...

- совокупность напряжений, действующих по всевозможным площадкам, проведенным через эту точку
- напряжение в опасной точке поперечного сечения стержня
- сочетание главных напряжений, действующих по главным площадкам, проведенным через эту точку
- условие прочности в опасной точке

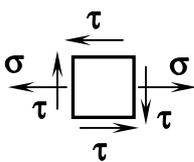
Задание 2 (Отметьте правильный ответ)



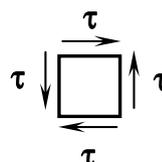
Для заданного случая сложного сопротивления напряженное состояние в опасной точке может быть представлено следующей схемой:



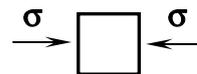
0



0



0



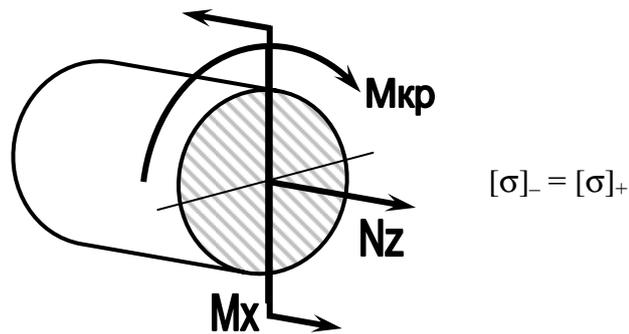
0

Задание 3 (Отметьте правильный ответ)

Предельным называется напряженное состояние в точке, при котором...

- происходит переход материала из одного механического состояния в другое
- эквивалентное напряжение равно коэффициенту запаса
- все главные напряжения, действующие в точке, равны по абсолютной величине
- значения нормальных напряжений по абсолютной величине равны значениям касательных напряжений

Задание 4 (Отметьте правильный ответ)



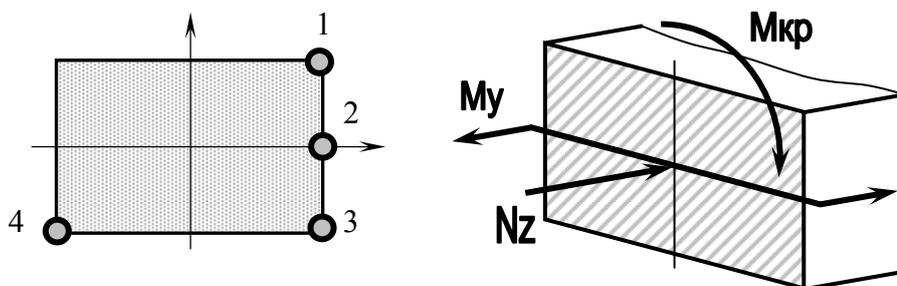
Для оценки прочности стержня из пластичного материала, испытывающего сложное сопротивление, должна быть выбрана...

- гипотеза наибольших линейных деформаций
- гипотеза наибольших касательных напряжений
- гипотеза наибольших нормальных напряжений
- гипотеза прочности Мора

Задание 5 (Дополните начало фразы)

... – вид деформации бруса, возникающий при различных комбинациях простых видов деформаций (растяжения, сжатия, сдвига, кручения, изгиба)

Задание 6 (Добавьте цифру)



Для заданного случая сложного сопротивления положение опасной точки в поперечном сечении отмечено цифрой...

Модуль №9. Устойчивость сжатых стержней

Теоретический материал

Базовые знания

- Характеристики прочности материалов
- Расчет на прочность при растяжении-сжатии
- Геометрические характеристики плоских сечений
- Дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня

Источник

Модуль №2
Модуль №3
Модуль №4
Модуль №5

Перечень основных изучаемых вопросов

- Понятие устойчивого равновесия элемента конструкции при статическом нагружении. Понятие критической силы. Примеры потери устойчивости конструкций
- Устойчивость сжатых стержней. Задача Эйлера. Формула Эйлера определения критической силы
- Влияние способа закрепления концов стержня на величину критической силы. Обобщенная формула Эйлера. Коэффициент приведения длины
- Пределы применимости формулы Эйлера. Гибкость стержня.
- Эмпирическая формула Ясинского определения критического напряжения. Пределы её применимости
- Диаграмма зависимости критического напряжения от гибкости стержня
- Понятие равноустойчивости
- Практический расчет сжатых стержней на устойчивость. Коэффициент продольного изгиба. Виды расчета на устойчивость

Источники информации для изучения

- Александров А.В.
- Писаренко Г.С. Учебник
- Ицкович Г.М.
- Писаренко Г.С. Справочник

Глава 15, §§15.1-15.5
Глава 19, §§116-121
Глава XIII, §§39-40
Глава 18, §§18.1-1.6

Требования к знаниям и умениям

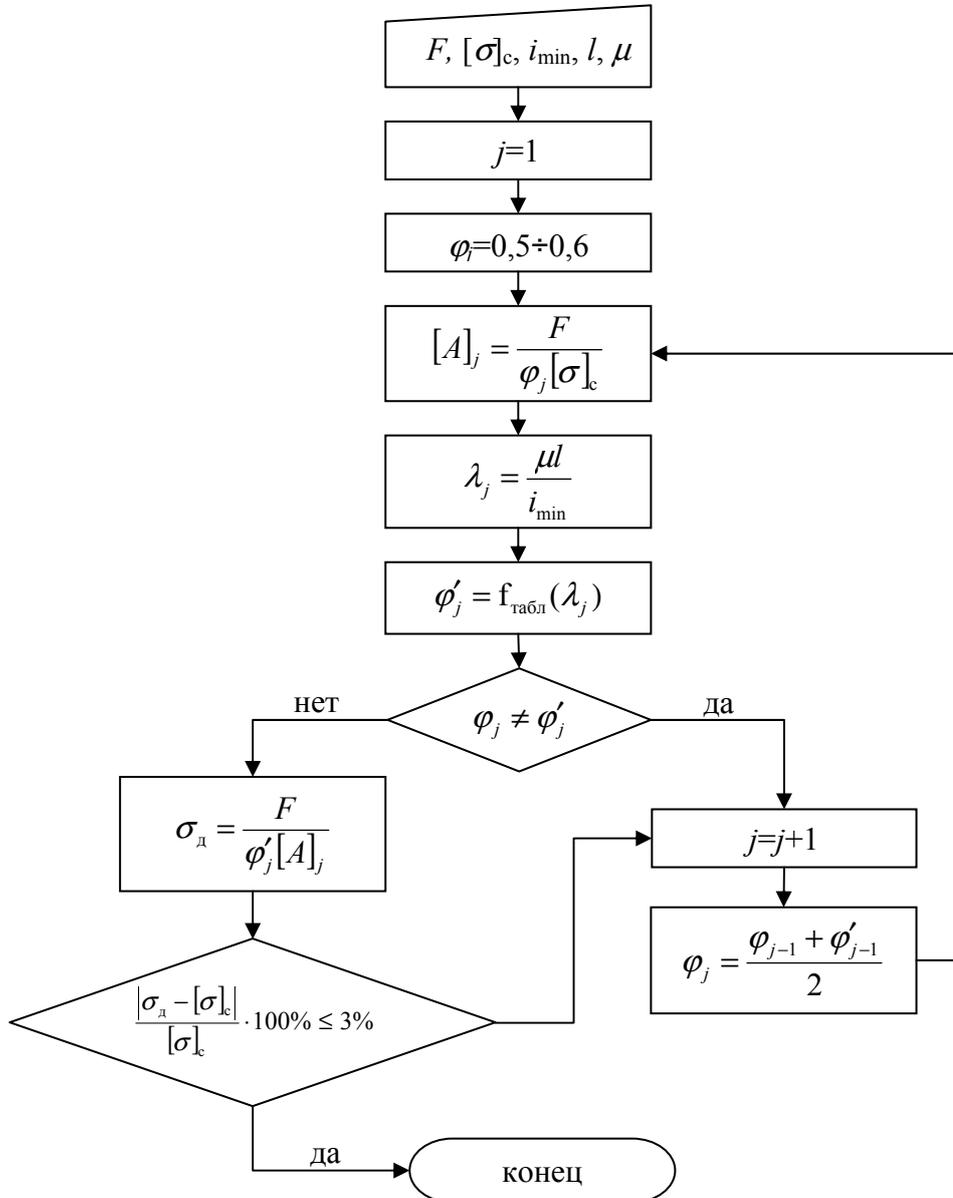
Что надо знать: Что понимается под устойчивостью элемента конструкции. Основные типы потери устойчивости. Понятие критической силы по Эйлеру. Зависимость критической силы от условий закрепления стержня. Понятие коэффициента приведения длины. Что такое гибкость, предельная гибкость. Диаграмму зависимости критического напряжения от гибкости. Формулу Ясинского. Условие равноустойчивости. Основные виды расчета на устойчивость: поверочный и проектировочный. Физический смысл коэффициента продольного изгиба. Коэффициент запаса по устойчивости.

Что надо уметь: Определять гибкость стоек. Уметь пользоваться диаграммой зависимости критического напряжения от гибкости. Определять критическую силу для стоек большой гибкости по формуле Эйлера, для стоек средней гибкости по формуле Ясинского. Производить проектировочный расчет с использованием коэффициента продольного изгиба.

Схема самостоятельной работы в модуле

№ недели	Виды самостоятельной работы				
	1. Подготовка к практическим занятиям	2. Подготовка к лабораторным занятиям	3. Работа над РПЗ № 6	4. Аналитическая работа с тьютором	5. Работа с ПК тренажерами
9.	Приготовить схему к задаче 11.1 и к задаче 11.2 для практического занятия №11. Знать основные положения теории устойчивости и алгоритм проективного расчета по коэффициенту φ		Приготовить расчетную схему задачи 6.1 по своему варианту. Определить геометрические характеристики заданного сечения стойки.	Сдача резюме по результатам работы. Обсуждение наиболее трудных моментов темы. Получение индивидуальных консультаций. <u>По расписанию работы тьютора</u>	По расписанию Центра информационных технологий
10.			Выполнить расчеты по плану решения задачи 6.1. для заданного сечения. Написать резюме тьютору		
11.			Выполнить расчеты для стойки кольцевого сечения. Сделать выводы по решению. Написать резюме тьютору		

**Алгоритм
проектировочного расчета на устойчивость
с использованием коэффициента продольного изгиба**



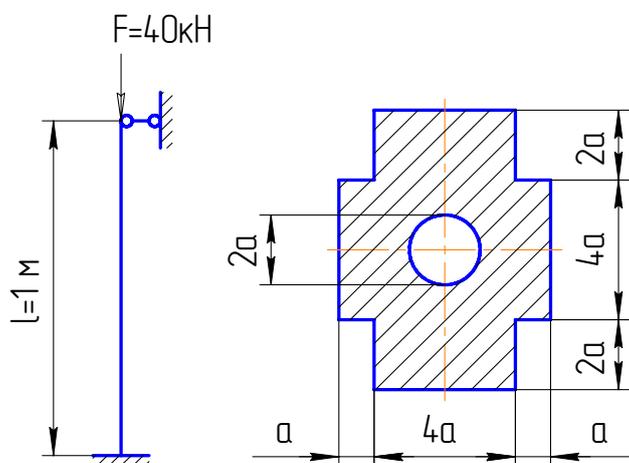
Практическое занятие №11. Расчет сжатых стоек на устойчивость

Задачи к практическому занятию №11

Для совместной работы на доске

Задача 11.1

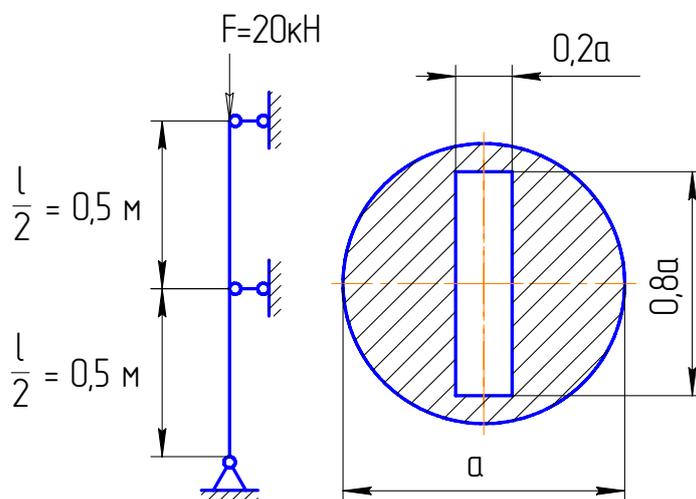
Стойка длиной $\ell=1$ м с жестко закрепленным нижним концом и шарнирно опертым верхним сжимается силой $F=40$ кН. Подобрать величину размера a поперечного сечения стойки, обеспечив ее устойчивость, если допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma]_c=160$ МПа. Для спроектированной стойки определить величину критической силы и коэффициент запаса устойчивости.



Для самостоятельной работы

Задача 11.2

Стойка длиной $\ell=1$ м с шарнирно опертыми концами и промежуточной шарнирной опорой посередине сжимается силой $F=20$ кН. Подобрать величину размера a поперечного сечения стойки, обеспечив ее устойчивость, если допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma]_c=160$ МПа. Для спроектированной стойки определить величину критической силы и коэффициент запаса устойчивости.



Расчетно-проектировочная работа №6.

Задача 6.1. Расчет сжатых стержней на устойчивость

Поперечное сечение центрально сжатой колонны составлено из стальных прокатных профилей, соединенных в сплошное сечение при помощи диагональной решетки из стальных планок. Определить: допускаемую нагрузку из условия устойчивости, критическую нагрузку и коэффициент запаса устойчивости – для колонны заданной формы поперечного сечения, а также для колонны кольцевого сечения. Оба сечения имеют одинаковую площадь, для кольца известно соотношение диаметров: $\alpha = d/D$. Исходные данные взять из табл. 6.1.

План решения

Для колонны с заданным составным сечением:

1. Определить расстояние x из условия равноустойчивости сечения.
2. Определить наибольшую допускаемую величину сжимающей нагрузки на колонну, используя коэффициент продольного изгиба.
3. Определить величину критической нагрузки и коэффициента запаса устойчивости колонны, приняв:
 - для Ст. 2 – $\lambda_0 = 60$, $\lambda_{пред} = 105$, $a = 245$ МПа, $b = 0,67$ МПа;
 - для Ст. 3 – $\lambda_0 = 61$, $\lambda_{пред} = 101$, $a = 304$ МПа, $b = 1,12$ МПа;
 - для Ст. 5 – $\lambda_0 = 55$, $\lambda_{пред} = 90$, $a = 342$ МПа, $b = 1,39$ МПа.
4. Повторить п.п. 2 и 3 для колонны с равновеликим по площади кольцевым сечением при всех прочих равных условиях.
- 5.* Провести сравнение двух колонн с разными поперечными сечениями по грузоподъемности.

Таблица 6.1

Первая цифра варианта Вид закрепления и длина стойки			Вторая цифра варианта Схема составного сечения и материал профилей					Третья цифра варианта Размеры прокатных профилей по сортаменту и соотношение диаметров кольца					
№ вар.	№ схемы стойки (рис.6.1.1)	l, м	№ вар.	№ схемы сечения (рис.6.1.2)	c, см	Марка стали	$[\sigma]$, МПа	№ вар.	Дву- тавр №	Швел- лер №	Уголок равно- бокий №	Уголок неравно- бокий №	$\alpha = \frac{d}{D}$
0	0	6,6	0	4	1,0	Ст.2	140	0	12	10	5	10/6,3	0,6
1	1	4,7	1	3	2,0	Ст.3	160	1	14	16	5,6	11/7	0,65
2	2	7,0	2	2	1,6	Ст.5	180	2	10	18	6,3	12,5/8	0,7
3	3	4,0	3	1	0	Ст.2	140	3	16	12	7	7,5/5	0,75
4	4	8,0	4	6	1,8	Ст.3	160	4	22	14	7,5	5/3,2	0,8
5	5	12,0	5	5	2,4	Ст.5	180	5	20	20	8	10/6,3	0,85
6	6	5,8	6	2	08	Ст.2	160	6	20	16	9	9/5,6	0,9
7	7	6,2	7	1	1,4	Ст.3	180	7	18	18	10	5/3,2	0,8
8	8	11,0	8	4	1,2	Ст.5	140	8	22	14	5	7,5/5	0,75
9	9	14,4	9	3	2,2	Ст.3	160	9	18	22	7	9/5,6	0,7

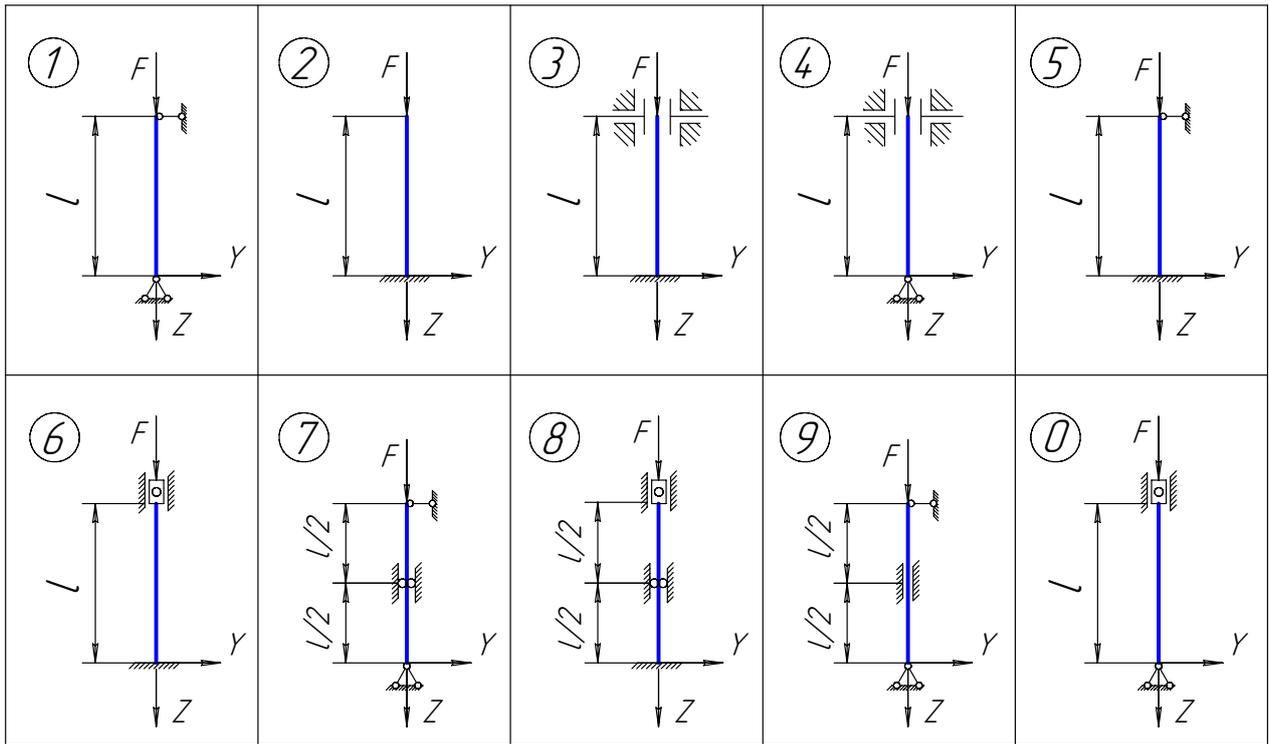


Рис. 6.1.1. Схемы закрепления стойки.

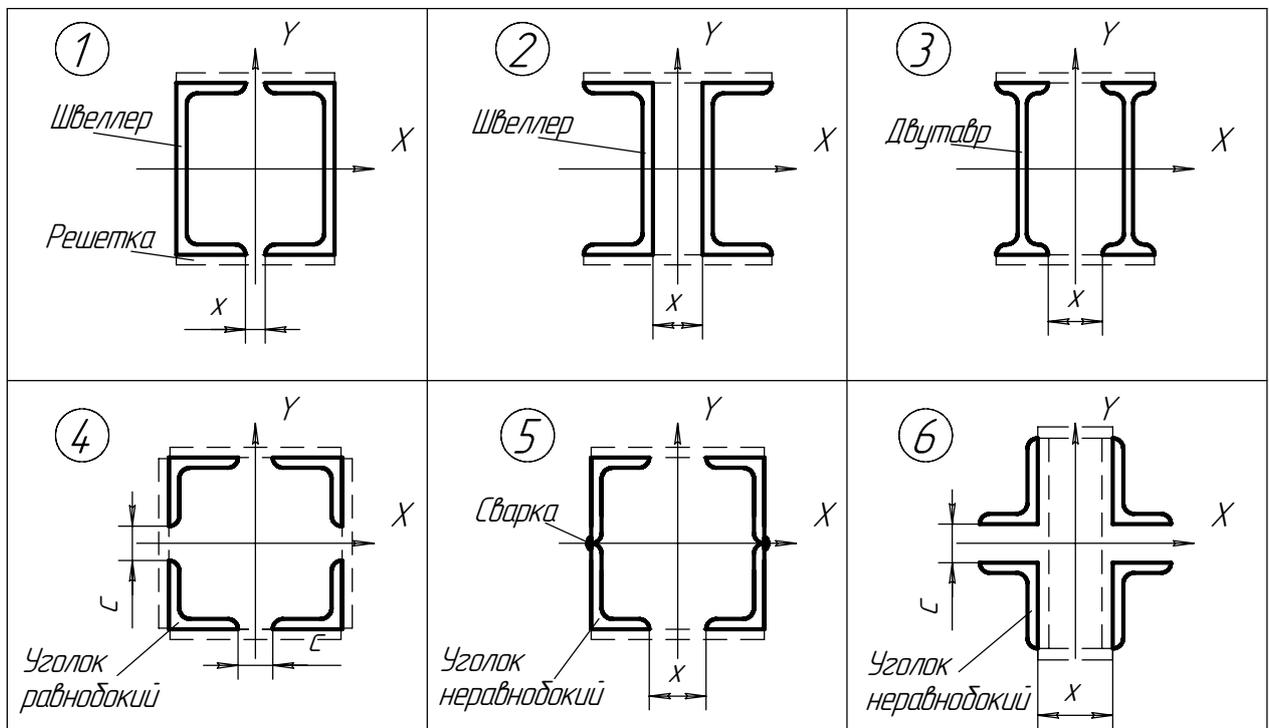
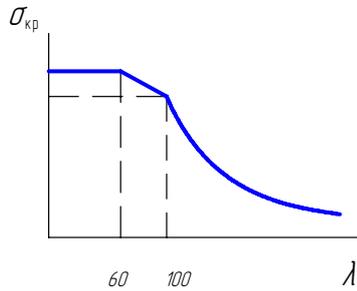


Рис. 6.1.2. Схемы составных сечений.

Вариант контрольного теста

Задание 1 (Отметьте правильный ответ)

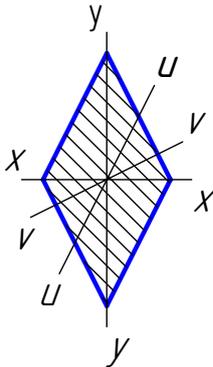
Центрально сжатый стержень длиной 1 м, закрепленный по схеме Эйлера, с радиусами инерции поперечного сечения $i_x=1,92$ см и $i_y=0,95$ см, рассчитывается по формуле...



- $F_{кр} = \frac{\pi^2}{(\mu l)^2} EJ_{\min}$
- $F_{кр} = (a - b\lambda)A$
- $F_{кр} = \sigma_t A$
- $F_{кр} = \phi[\sigma]A$

Задание 2 (Отметьте правильный ответ)

При расчете на устойчивость центрально сжатого стержня представленного сечения следует использовать момент инерции относительно оси:



- x-x
- y-y
- u-u
- v-v
- все варианты равнозначны

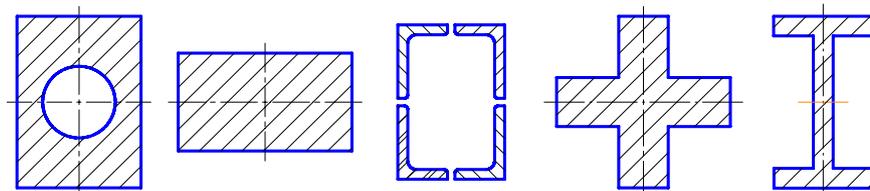
Задание 3 (Отметьте правильный ответ)

Практический расчет на устойчивость производится по формуле...

- $\frac{N}{A} \leq \phi[\sigma]$
- $\frac{N}{A} \leq \frac{\pi^2}{\lambda^2} E$
- $\frac{N}{A} \leq a - b\lambda$
- $\frac{N}{A} \leq \frac{\pi^2}{(\mu l)^2} EJ$

Задание 4 (Отметьте правильный ответ)

Среди представленных вариантов поперечного сечения равноустойчивостью обладает сечение...



A B C D E

- A
- B
- C
- D
- E

Задание 5 (Отметьте правильный ответ)

Если для стойки гибкость относительно главных центральных осей инерции различна ($\lambda_x > \lambda_y$), то при расчете на устойчивость следует использовать...

- λ_x
- λ_y
- $\lambda_{cp} = \frac{\lambda_x + \lambda_y}{2}$
- $\lambda_{\Sigma} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_y^2}$

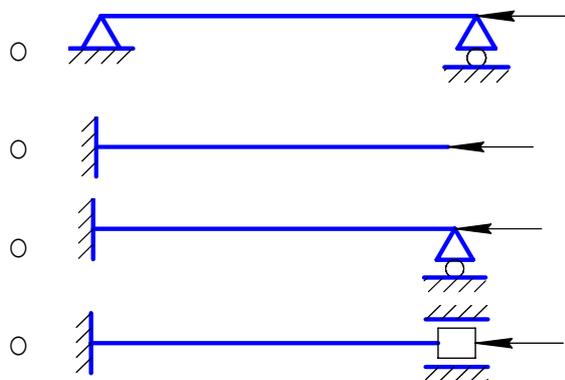
Задание 6 (Отметьте правильный ответ)

При увеличении длины сжатого стержня большой гибкости в 2 раза его грузоподъемность...

- увеличивается в 4 раза
- увеличивается в 2 раза
- не изменяется
- уменьшается в 2 раза
- уменьшается в 4 раза

Задание 7

Расположите стержни в порядке возрастания коэффициента приведения длины



Модуль №10. Выносливость

Теоретический материал

Базовые знания

- Статический расчет конструкций на прочность при растяжении-сжатии, изгибе, кручении

Источник

Модули №№3,5,6

Перечень основных изучаемых вопросов

- Понятие об усталостном разрушении материала. Усталость и выносливость материала
- Характеристики циклов напряжений. Виды циклов напряжений. Подобные циклы
- Кривые усталости. Предел выносливости материала. Базовое число циклов. Определение предела выносливости для цветных металлов и легированных сталей
- Диаграмма предельных амплитуд. Схематизированные диаграммы предельных амплитуд
- Конструктивно-технологические факторы, влияющие на усталостную прочность материала:
 - ✓ Концентрация напряжений. Основные виды концентраторов напряжений. Теоретический коэффициент концентрации напряжений. Эффективный коэффициент концентрации напряжений. Коэффициент чувствительности материала
 - ✓ Масштабный фактор
 - ✓ Качество обработки поверхности
 - ✓ Внешняя среда
- Коэффициент запаса при циклическом нагружении

Источники информации для изучения

- Александров А.В.
- Писаренко Г.С. Учебник
- Ицкович Г.М.
- Писаренко Г.С. Справочник

Глава 18, 19 §§19.1-19.6

Глава 21, §§136-139

Глава XV

Глава 20, §§20.1-20.4

Требования к знаниям и умениям

Что надо знать: Что такое явление усталости и явление выносливости. Основные характеристики цикла нагружения. Что такое предел выносливости и как он определяется. Какие факторы влияют на величину предела выносливости, и какими коэффициентами они учитываются. Что такое диаграмма предельных амплитуд и на основании каких видов испытаний она строится. Основные типы схематизации диаграммы предельных амплитуд. Как определяется коэффициент запаса для детали, испытывающей повторно-переменные напряжения в случае одноосного и плоского напряженного состояния. Как производятся расчеты на прочность в условиях повторно-переменного нагружения.

Что надо уметь: Определять величины характеристик цикла напряжения. Строить схематизированные диаграммы предельных амплитуд. Определять коэффициенты, учитывающие особенности детали (размер, качество обработки поверхности, наличие конструктивных концентраторов напряжения). Определять коэффициенты запаса для одноосного и плоского напряженного состояния. Уметь оценивать прочность детали, испытывающей повторно-переменные нагрузки.

Схема самостоятельной работы в модуле

№ недели	Виды самостоятельной работы				
	1. Подготовка к практическим занятиям	2. Подготовка к лабораторным занятиям	3. Работа над РПР №6	4. Аналитическая работа с тьютором	5. Работа с ПК тренажерами
12.	Приготовить схему к задаче 12.1 и схему к задаче 12.2 для п/з №12. Подготовить теорию по определению коэффициента запаса выносливости. Знать, как определяются коэффициенты, учитывающие факторы, влияющие на предел выносливости, и как строится упрощенная диаграмма предельных амплитуд.		Приготовить расчетную схему задачи 6.2 по своему варианту. Определить геометрические характеристики сечения вала и определить основные номинальные характеристики цикла нагружения.	Сдача резюме по результатам работы. Обсуждение наиболее трудных моментов темы. Получение индивидуальных консультаций. <u>По расписанию работы тьютора</u>	По расписанию Центра информационных технологий
13.			Выполнить дальнейшие расчеты по плану решения задачи 6.2. Написать резюме тьютору		

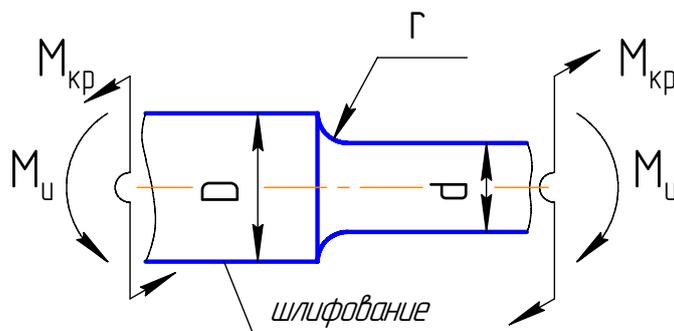
Практическое занятие №12. Расчет на прочность при повторно-переменных нагрузках

Задачи к практическому занятию №12

Для совместной работы на доске

Задача 12.1

Участок вала, имеющий концентратор напряжений в виде галтели радиусом $r = 5$ мм, диаметр одной части $D = 75$ мм, а другой $d = 60$ мм, испытывает совместное действие изгиба и кручения. Изменение изгибающего момента находится в диапазоне: $M_{и}^{\max} = M$, $M_{и}^{\min} = -1,5M$, крутящего момента – $M_{кр}^{\max} = M$, $M_{кр}^{\min} = 0$. Вал изготовлен из стали 45 с механическими характеристиками: $\sigma_B = 600$ МПа, $\sigma_T = 360$ МПа, $\sigma_{-1} = 300$ МПа, $\tau_T = 230$ МПа, $\tau_{-1} = 180$ МПа, – и имеет шлифованную поверхность. Требуется определить допускаемую величину момента [М], чтобы обеспечить запас выносливости $[n]=1,5$.



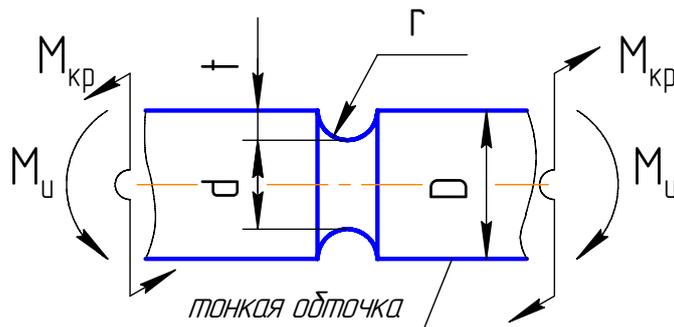
Для самостоятельной работы

Задача 12.2

Участок вала с концентратором напряжений в виде выточки подвергается совместному действию изгиба и кручения. Значение изгибающего момента изменяется в диапазоне: $M_{и}^{\max} = 0,8$ кНм, $M_{и}^{\min} = -0,8$ кНм, крутящего момента – $M_{кр}^{\max} = 2$ кНм, $M_{кр}^{\min} = 0$.

Значения геометрических размеров вала: $D = 55$ мм, $d = 50$ мм, $r = 2$ мм, $t = \frac{D-d}{2}$. Вал

изготовлен из стали 40ХН с механическими характеристиками: $\sigma_B = 1000$ МПа, $\sigma_T = 800$ МПа, $\sigma_{-1} = 400$ МПа, $\tau_T = 390$ МПа, $\tau_{-1} = 240$ МПа. Требуется определить коэффициент запаса по выносливости и по текучести и сделать выводы о наиболее вероятном механизме разрушения.



Расчетно-проектировочная работа №6.

Задача 6.2. Расчет на прочность при повторно-переменных нагрузках

Вал редуктора, представляющий собой стержень круглого сечения с концентратором напряжений, подвергается действию изгибающего и крутящего моментов, изменяющихся по синусоидальному закону.

Определить коэффициент запаса прочности вала по выносливости и текучести. Исходные данные взять из табл. 6.2.

План решения

1. Определить характеристики циклов переменных напряжений от изгиба и кручения в ослабленном сечении вала.

2. Построить графики циклов переменных напряжений при произвольном периоде их изменения и указать все найденные характеристики циклов.

3. Определить коэффициенты, учитывающие влияние конструктивно-технологических факторов и асимметрии циклов на предел выносливости по изгибу и кручению.

4. Определить аналитически и графически коэффициенты запаса прочности вала от изгиба и кручения, построив в масштабе диаграммы предельных напряжений циклов.

5. Определить коэффициенты запаса прочности вала по выносливости и текучести от совместного действия изгиба и кручения. Сделать заключение по расчету.

Таблица 6.2

1. Тип концентратора материала			2. Варианты нагрузок					3. Варианты конструктивных размеров и состояния поверхности валов							
№ вар.	№пп табл. 6.2.1	№пп табл. 6.2.2	№ вар.	M_u^{\max} , кНм	M_u^{\min} , кНм	M_k^{\max} , кНм	M_k^{\min} , кНм	№ вар.	D , мм	d , мм	r , мм	a , мм	b , мм	c , мм	№пп табл. 6.2.3
0	1	5	0	0,60	-0,60	3,00	1,50	0	55	50	1,0	2,5	16	6,0	1
1	2	7	1	0,72	-0,48	1,06	-0,63	1	60	52	2,1	4,0	16	6,0	2
2	3	3	2	0,80	-0,40	1,70	0,17	2	65	55	3,3	5,5	16	6,0	3
3	4	1	3	1,32	-0,11	1,10	-0,55	3	65	60	4,8	7,2	18	7,0	2
4	3	2	4	1,50	0,30	2,75	1,10	4	85	63	6,3	8,8	18	7,0	4
5	1	4	5	2,00	0,80	1,50	0,15	5	75	65	9,8	10,4	18	7,0	1
6	4	6	6	1,20	0	2,20	0,55	6	75	70	5,6	12,6	20	7,5	3
7	2	8	7	1,20	-0,40	1,68	0	7	85	60	6,0	12,0	18	7,0	4
8	1	5	8	1,50	0,64	0,80	-0,80	8	75	55	5,5	10,0	16	6,0	2
9	4	1	9	0,95	-0,95	0,96	-0,96	9	90	65	2,6	15,6	18	7,0	3

Примечание. При решении использовать размеры валов, соответствующие заданной схеме концентратора.

Типы концентраторов напряжений

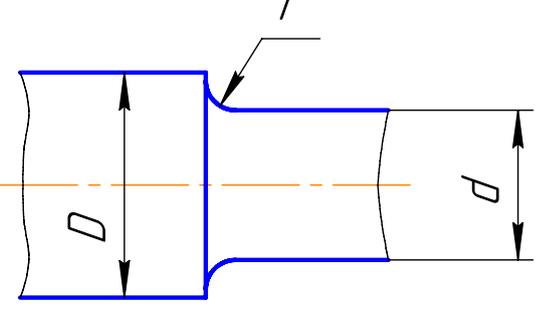
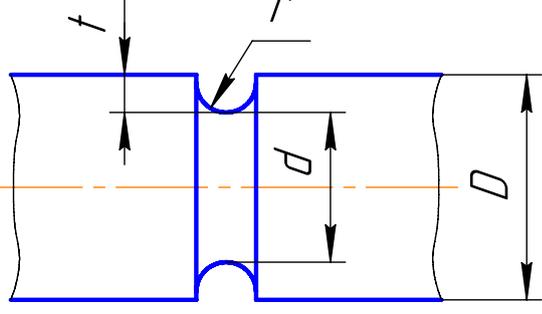
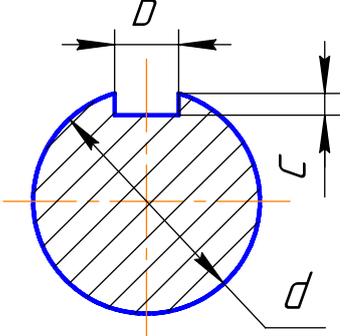
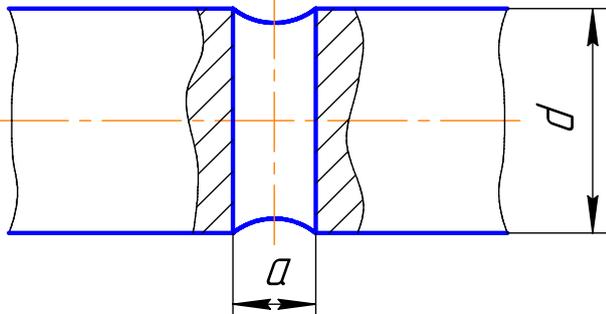
№ п.п	Наименование	Схема концентратора
1	Галтель	
2	Выточка круглая $t = \frac{D - d}{2}$	
3	Паз шпоночный	
4	Отверстие поперечное	

Таблица 6.2.2

Механические свойства материалов валов, МПа

№ пп	Материал	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_{-1} , МПа	τ_T , МПа	τ_{-1} , МПа
1.	Сталь 45	600	360	300	230	180
2.	Сталь 20Х	800	650	380	380	200
3.	Сталь 50	640	380	320	220	200
4.	Сталь 40	580	340	280	200	180
5.	Сталь 30ХН3А	1000	800	600	460	360
6.	Сталь 60	700	410	380	200	200
7.	Сталь 40ХН	1000	800	400	390	240
8.	Сталь 30ХМ	950	750	380	430	230

Таблица 6.2.3

Качество обработанной поверхности валов

№ пп	Вид обработки
1	Полирование
2	Шлифование
3	Грубая обточка
4	Тонкая обточка

Вариант контрольного теста

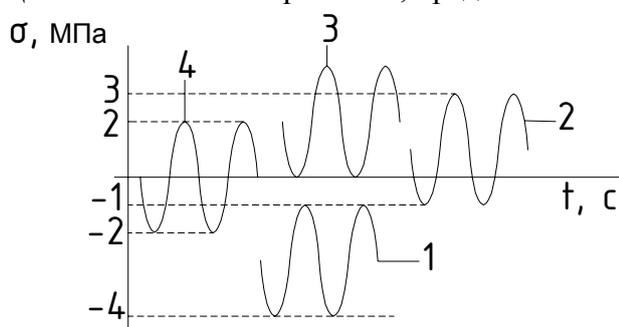
Задание 1 (Отметьте правильный ответ)

Явление усталости материалов заключается в ...

- изменении свойств материала в результате длительного воздействия температуры
- постепенном накоплении повреждений в материале под действием переменных нагрузок, приводящем к разрушению
- постепенном изменении первоначальной геометрии объекта под действием постоянного напряжения, близкого к пределу текучести
- постепенном изменении свойств материала в условиях объемно-напряженного состояния при наличии концентратора напряжений

Задание 2 (Отметьте правильный ответ)

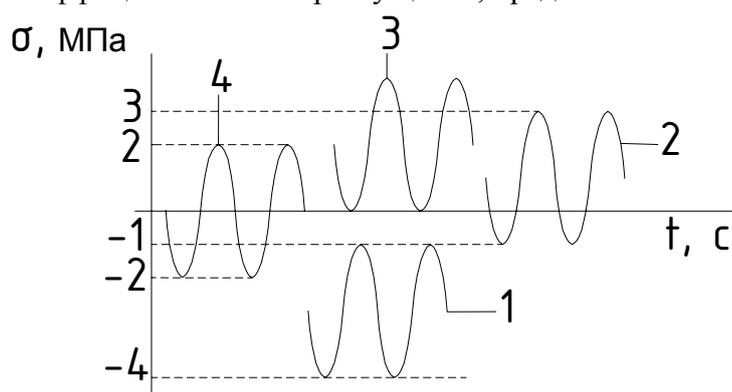
Цикл изменения напряжения, представленный на рисунке под номером 1 называется ...



- симметричный
- положительный
- пульсационный
- знакопостоянный

Задание 3 (Добавьте число со знаком)

Коэффициент асимметрии у цикла, представленного на рисунке под номером 2 равен ...



Задание 4 (Отметьте правильный ответ)

Величина σ_{-1} называется...

- эквивалентное напряжение по первой теории прочности
- предел устойчивости
- среднеквадратическое значение напряжения за время наблюдения

- предел выносливости

Задание 5 (Отметьте правильный ответ)

Коэффициент масштабного фактора определяется...

- длиной рабочей части образца
- масштабом, применяемым при измерении предела выносливости
- отношением поперечных размеров образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях
- размерами поперечного сечения образца

Задание 6 (Отметьте правильный ответ)

Коэффициент, показывающий во сколько раз максимальное напряжение, возникающее вблизи концентратора, больше номинального, называется...

- теоретический коэффициент концентрации напряжений
- эффективный коэффициент концентрации напряжений
- степень концентрации напряжений
- коэффициент изменения напряжений

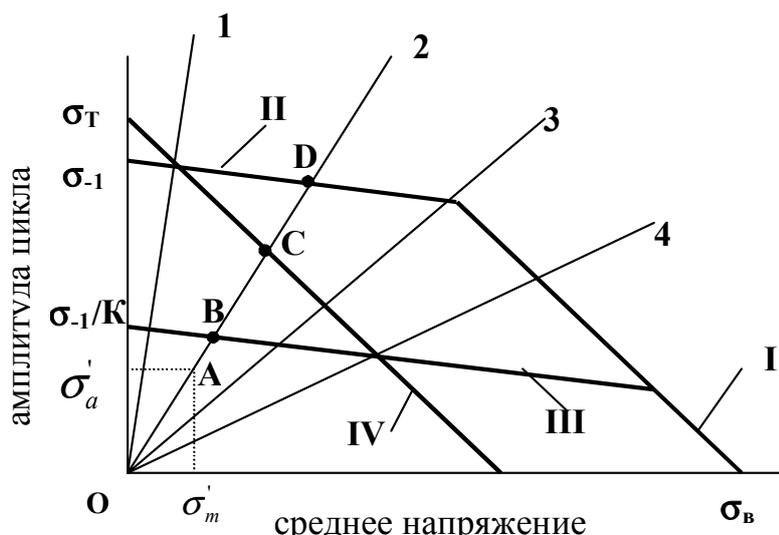
Задание 7 (Отметьте правильный ответ)

Диаграмма предельных амплитуд строится в координатах...

- амплитуда – деформация
- максимальное напряжение – амплитуда
- амплитуда – среднее напряжение
- предел выносливости – амплитуда

Задание 8 (Отметьте правильный ответ)

Запас прочности по выносливости для стандартного образца с рабочей точкой цикла: σ'_a ; σ'_m определяется следующим соотношением...



- OA/OB
- OD/OA
- OC/OA
- OB/OA

Модуль №11. Колебания. Удар

Теоретический материал

Базовые знания

- Статический расчет конструкций на прочность при растяжении-сжатии, изгибе, кручении

Источник

Модули №№3,5,6

Перечень основных изучаемых вопросов

А. Колебания

- Классификация механических колебаний по причинам, вызывающим колебания, по виду деформации. Число степеней свободы
- Колебания упругих систем с одной степенью свободы
- Свободные колебания систем с одной степенью свободы без учета сил сопротивления. Дифференциальное уравнение колебаний. Частота собственных колебаний. Податливость системы
- Свободные колебания с учетом сопротивления среды. Дифференциальное уравнение колебаний. Удельный коэффициент сопротивления. Логарифмический декремент затухания. Природа сил сопротивления
- Вынужденные периодические колебания с учетом сил сопротивления. Дифференциальное уравнение колебаний. Частота вынужденных колебаний. Амплитуда колебаний. Коэффициент нарастания колебаний. Расчет на прочность и жесткость

В. Удар

- Удар – вид динамического нагружения. Общий подход к расчету на прочность и жесткость при динамическом нагружении. Особенности ударного действия нагрузки. Виды удара
- Общий случай ударного воздействия нагрузки. Законы сохранения: импульса, кинетической энергии. Коэффициент динамичности в общем случае ударного воздействия
- Частные случаи удара. Коэффициенты динамичности для частных случаев удара

Источники информации для изучения

А. Колебания

- Писаренко Г.С. Учебник
- Ицкович Г.М.
- Писаренко Г.С. Справочник

В. Удар

- Александров А.В.
- Писаренко Г.С. Учебник
- Ицкович Г.М.
- Писаренко Г.С. Справочник

Глава 20, §§123-127
Глава XVI, §§51-52
Глава 19, §§19.1-19.7

Глава 17, §§17.3-17.4
Глава 22, §§141-144
Глава XVI, §§50
Глава 21

Требования к знаниям и умениям

Что надо знать: Что понимается под степенью свободы упругой системы. Что такое свободные и вынужденные колебания упругой системы с одной степенью свободы. Что такое податливость упругой системы с одной степенью свободы и как она определяется для разных видов деформации. Как учитывается сила сопротивления, и какова природа сил сопротивления. Физический смысл коэффициента динамичности и как он определяется для случая вынужденных колебаний с учетом и без учета силы сопротивления для упругой системы с одной степенью свободы. Как определяются перемещения и напряжения на упругой системе, испытывающей вынужденные колебания. Что понимается под явлением удара. Какие гипотезы лежат в основе теории удара. Какой физический закон используется при выводе формулы коэффициента динамичности. Физический смысл коэффициента динамичности в условиях ударного взаимодействия. Как определяются напряжения и перемещения на упругой системе, подвергающейся удару.

Что надо уметь: Определять податливость упругой системы при различных видах деформации. Определять коэффициент динамичности в условиях вынужденных колебаний упругой системы с одной степенью свободы. Оценивать напряжения и перемещения на упругой системе в условиях вынужденных колебаний. Определять коэффициент динамичности для общего и частных случаев плоского удара. Оценивать напряжения и перемещения на упругой системе в условия ударного воздействия.

Схема самостоятельной работы в модуле

№ недели	Виды самостоятельной работы				
	1. Подготовка к практическим занятиям	2. Подготовка к лабораторным занятиям	3. Работа над РПР №6	4. Аналитическая работа с тьютором	5. Работа с ПК тренажерами
14.	Приготовить схемы к задаче 13.1 и 13.2 к практическому занятию №13. Знать, как определяется коэффициент динамичности для вынужденных колебаний.		Приготовить расчетную схему задачи 6.3 по своему варианту.	Сдача резюме по результатам работы. Обсуждение наиболее трудных моментов темы. Получение индивидуальных консультаций. <u>По расписанию работы тьютора</u>	По расписанию Центра информационных технологий
15.	Приготовить схемы к задачам 14.1 и 14.2 к практическому занятию №14. Знать формулу коэффициента динамичности для общего случая плоского удара и ее модификации для частных случаев.		Выполнить дальнейшие расчеты по плану решения задачи 6.3. Написать резюме тьютору		
16.				Сдача РПР №6	

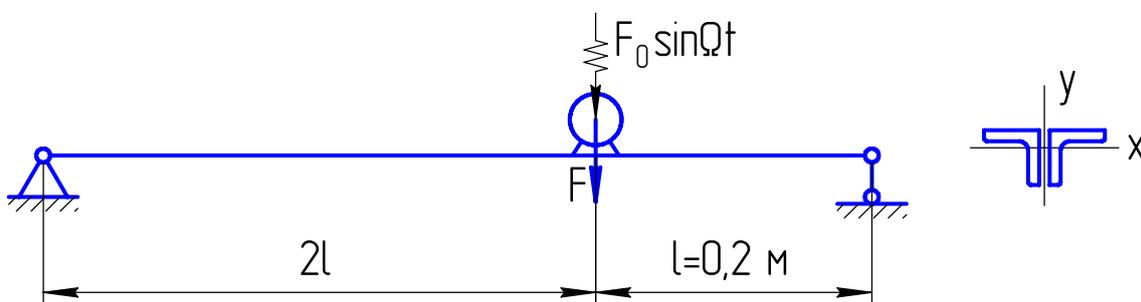
Практическое занятие №13. Расчет на прочность подmotorных балок

Задачи к практическому занятию №13

Для совместной работы на доске

Задача 13.1

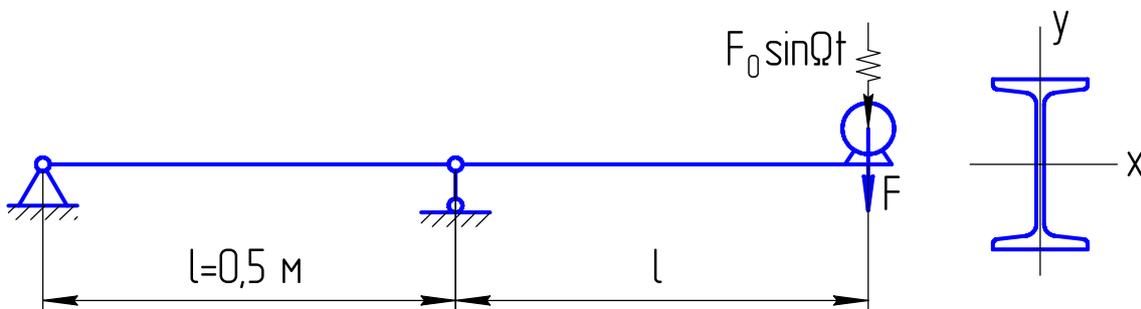
На двухопорной балке, изготовленной из двух равнобоких уголков №4, установлен электродвигатель, вес которого $F=0,2$ кН. Число оборотов электродвигателя $N=500$ об/мин, амплитудное значение центробежной силы, возникающей при вращении ротора $F_0=0,05$ кН. Произвести проверочный расчет на прочность подmotorной балки и определить значение l , при котором возможно наступление резонанса. Сопротивлением среды пренебречь. Допускаемое напряжение $[\sigma]$ принять равным 160 МПа.



Для самостоятельной работы

Задача 13.2

На консольном участке двухопорной балки, изготовленной из двутавра №10, установлен электродвигатель весом F . Число оборотов электродвигателя $N=600$ об/мин. Амплитудное значение центробежной силы, возникающей при вращении ротора $F_0=0,2F$. Определить из условия прочности допускаемую величину веса электродвигателя $[F]$ и значение l , при котором возможно наступление резонанса. Сопротивлением среды пренебречь, допускаемое напряжение $[\sigma]$ принять равным 160 МПа.



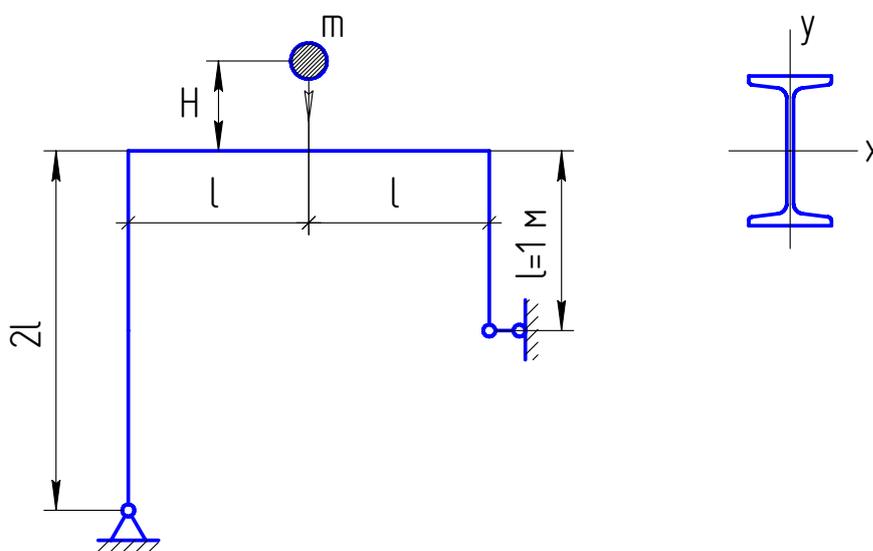
Практическое занятие №14. Расчет упругих систем в условиях ударного воздействия

Задачи к практическому занятию №14

Для совместной работы на доске

Задача 14.1

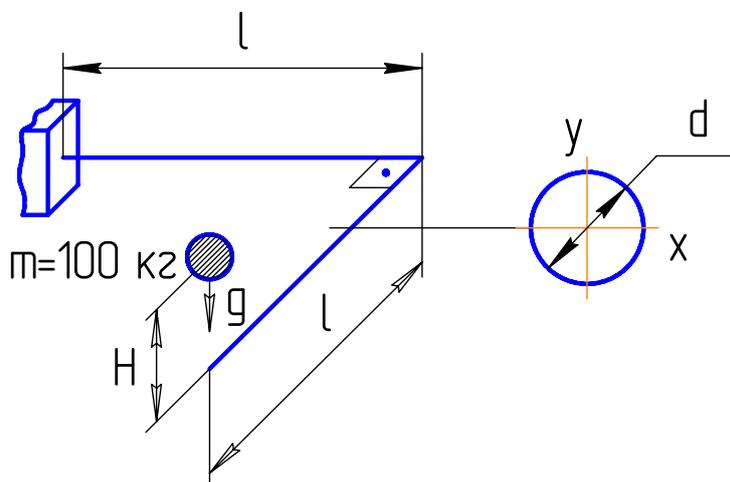
На середину ригеля двухопорной рамы, изготовленной из двутавра №10, падает груз массой $m=100$ кг с высоты H . Определить максимально допустимую высоту падения груза, при которой в наиболее опасном сечении рамы напряжение будет равно допускаемой величине $[\sigma]=160$ МПа.



Для самостоятельной работы

Задача №14.2

Груз массой $m=100$ кг падает с высоты $H=0,05$ м на конец консольной рамы, изготовленной из прутка круглого профиля. Определить величину допускаемого диаметра $[d]$ поперечного сечения рамы, если рама изготовлена из Ст. 3 с $[\sigma]=160$ МПа.



Расчетно-проектировочная работа №6.

Задача 6.3. Расчет на прочность и жесткость балки при поперечном ударе

На упругую балку заданного поперечного сечения с высоты H свободно падает абсолютно жесткое тело массой m . Определить допустимую величину массы падающего тела $[m]$, при которой будет обеспечена прочность балки. Проверить выполнение условия жесткости, приняв $[\delta] = (0.0005 - 0.001)L$, где L – расстояние между опорами. Массой балки пренебречь.

План решения

1. Исходную балку статически нагрузить силой, равной по величине весу падающего тела, приложенной в точке удара и действующей в направлении удара.
2. Для полученной таким образом схемы выполнить статический расчет (в долях массы m):
 - определить статическое перемещение $\delta_{ст}$ в точке удара в направлении его действия;
 - найти максимальное статическое напряжение $|\sigma_{ст}|_{max}$;
 - найти максимальный статический прогиб $|\delta_{ст}|_{max}$.
3. Определить динамический коэффициент (в долях массы m).
4. Записать условие прочности при ударе, из которого подобрать допускаемую величину массы падающего тела $[m]$.
5. Определить максимальный динамический прогиб балки при $m=[m]$ и проверить выполнение условия жесткости.

Примечание. Вариант задания выбирается по схеме:

- 1-я цифра варианта – номер схемы балки (рис. 6.3.1)
- 2-я цифра варианта – номер поперечного сечения (рис. 6.3.2)
- 3-я цифра варианта – номер строки числовых данных (табл. 6.3)

Таблица 6.3

№ вар.	l , м	H , м	b , мм	k	k_1	Двутавр, швеллер №	Уголок неравнобокий №	Уголок равнобокий №
0	0,5	0,10	120	0,20	0,22	10	5/3,2	5
1	0,2	0,15	130	0,80	0,32	12	7,5/5	5,6
2	0,5	0,20	140	0,30	0,24	10	9/5,6	6,3
3	0,3	0,25	100	0,40	0,34	14	5/3,2	7
4	0,4	0,30	150	0,70	0,26	12	7,5/5	7,5
5	0,6	0,35	160	0,45	0,36	16	9/5,6	8
6	0,7	0,40	170	0,50	0,28	18	10/6,3	9
7	0,9	0,45	180	0,65	0,38	20	11/7	10
8	0,8	0,50	190	0,55	0,20	18	10/6,3	11
9	1,0	0,55	200	0,60	0,30	20	11/7	12,5

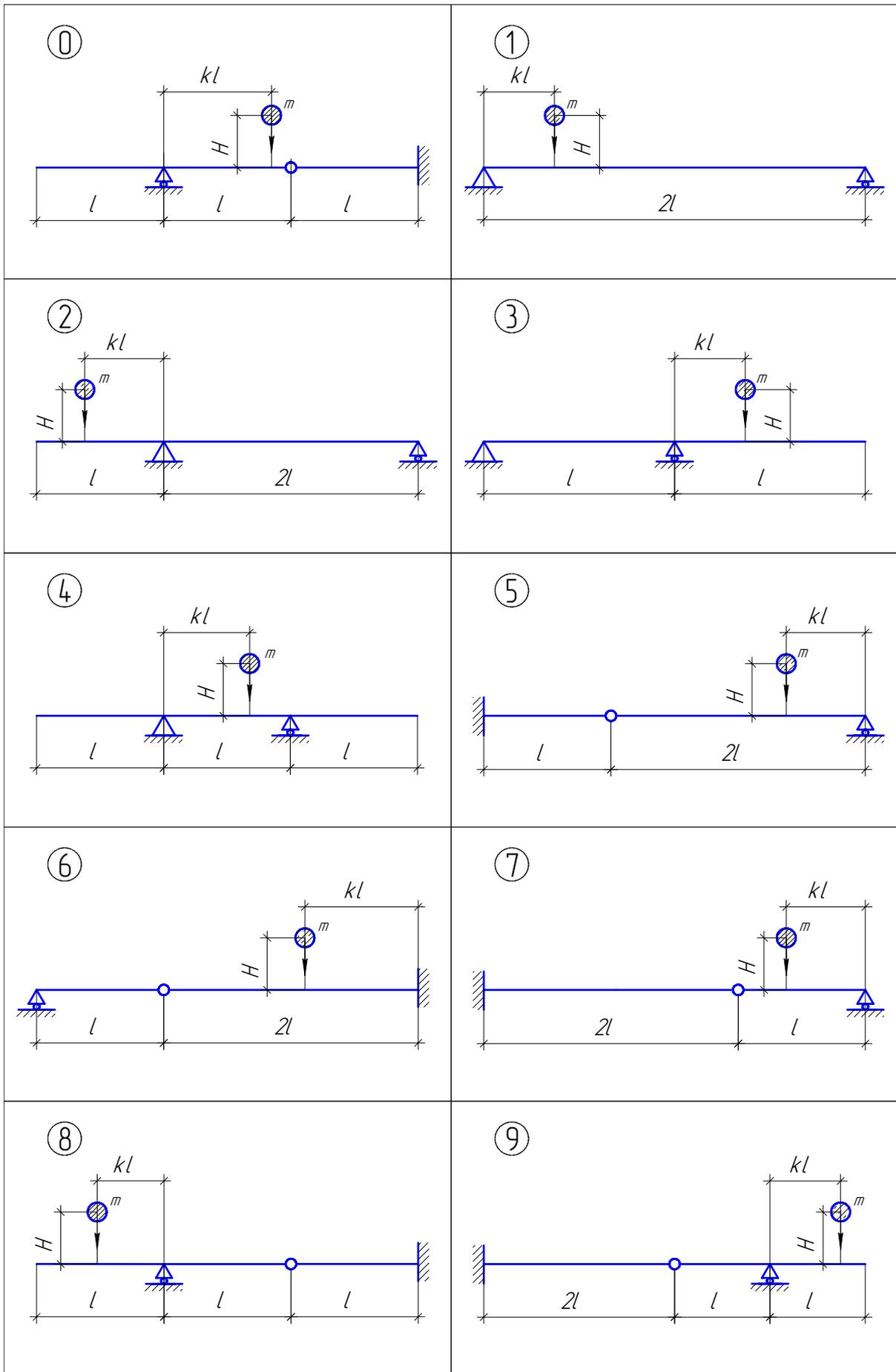


Рис. 6.3.1. Схемы балок.

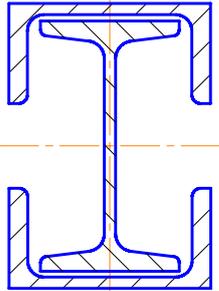
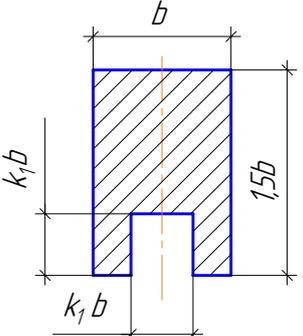
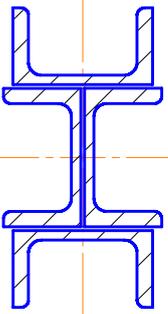
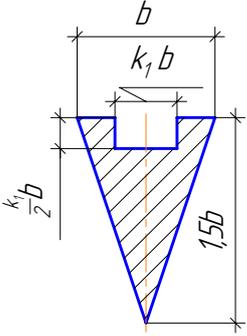
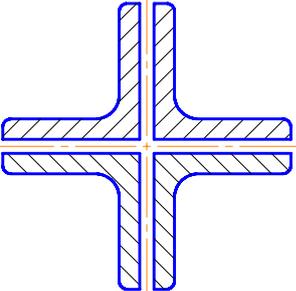
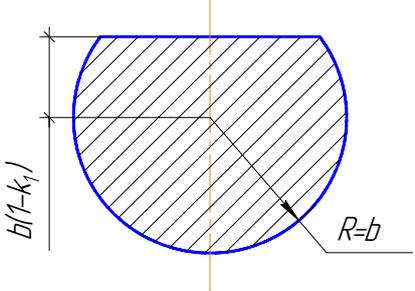
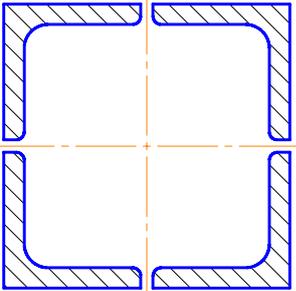
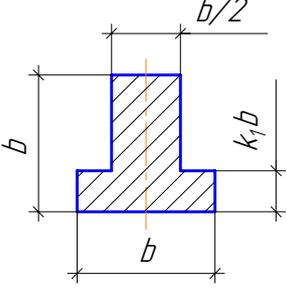
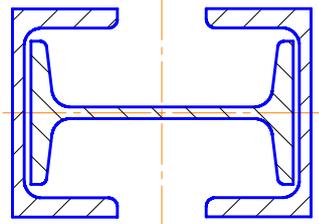
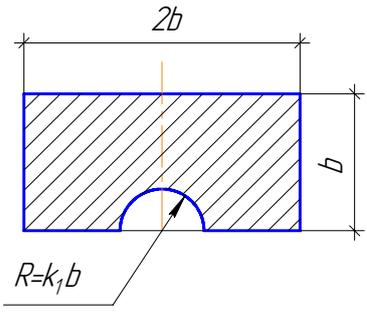
Сталь: $E=2 \cdot 10^5$ МПа $[\sigma]=160$ МПа		Дерево: $E=10^4$ МПа $[\sigma]=30$ МПа	
①		⑥	
②		⑦	
③		⑧	
④		⑨	
⑤		⑩	

Рис. 6.3.2. Схемы поперечных сечений.

Вариант контрольного теста

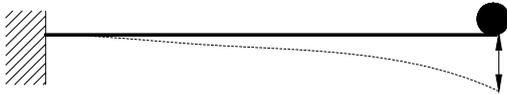
Задание 1 (Отметьте правильное продолжение фразы)

Вынужденными называются колебания упругой системы,...

- происходящие при действии на систему внешних периодически изменяющихся вынуждающих сил
- поддерживаемые внешними силами, характер воздействия которых определяется самим колебательным процессом
- в процессе которых периодически изменяются физические параметры системы (масса или жесткость системы)
- вызванные мгновенным воздействием силового импульса и происходящие под влиянием сил упругости системы

Задание 2 (Отметьте правильный ответ)

Упругий элемент конструкции, представленный на рисунке, испытывает колебания...



- растяжения – сжатия
- изгибные
- крутильные
- изгибно-крутильные

Задание 3 (Отметьте правильный ответ)

Для упругой системы, представленной на рисунке, число степеней свободы равно...



- $n=2$
- $n=3$
- $n=1$
- $n=\infty$

Задание 4 (Отметьте правильный ответ)

Если колебания упругой системы записываются дифференциальным уравнением

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + 2n \frac{dz}{dt} + \omega^2 z = F_0 \sin(\Omega t), \text{ то система испытывает...}$$

- вынужденные колебания с учетом сопротивления
- вынужденные колебания без учета сопротивления
- затухающие колебания
- незатухающие колебания

Задание 5 (Отметьте правильный ответ)

Если вес подвешенного на конце пружины груза увеличить в 4 раза (при неизменной жесткости пружины), то частота собственных колебаний груза...

- увеличится в $\sqrt{2}$ раз
- уменьшится в $\sqrt{2}$ раз
- увеличится в 2 раза
- уменьшится в 2 раза

Задание 6 (Отметьте правильный ответ)

Если жесткость поперечного сечения балки уменьшить в два раза, то собственная частота колебаний балки...

- увеличится в $\sqrt{2}$ раза
- уменьшится в $\sqrt{2}$ раза
- увеличится в 2 раза
- уменьшится в 2 раза

Задание 7 (Отметьте правильный ответ)

На балке установлен электродвигатель. Собственная частота упругой системы равна 100 с^{-1} . Если частота вращения ротора двигателя возрастает с 50 с^{-1} до 200 с^{-1} , то амплитуда вынужденных колебаний без учета сил сопротивления...

- уменьшится в 4 раза
- увеличится в 4 раза
- уменьшится в 5 раз
- увеличится в 5 раз

Задание 8 (Отметьте правильный ответ)

Ударом называется взаимодействие движущихся тел, в результате которого...

- за весьма большой промежуток времени ускорение изменяется незначительно
- происходит охрупчивание
- за весьма малый промежуток времени происходит резкое изменение скоростей точек взаимодействующих тел
- тела выдерживают многократное действие нагрузок в течение длительного периода времени

Задание 9 (Отметьте правильный ответ)

Динамический коэффициент при вертикальном ударе вычисляется по формуле:

- $k_d = \sqrt{\frac{g}{\delta_{cm}}}$
- $k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g \cdot \delta_{cm}}}$
- $k_d = 1 + \frac{F_o}{Q} \beta$
- $k_d = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Omega}{\omega}\right)^2}$

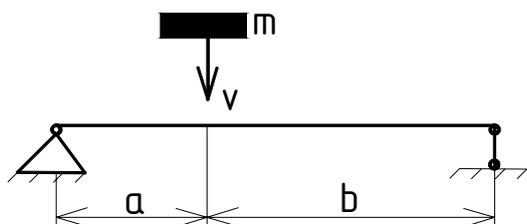
Задание 10 (Отметьте правильный ответ)

Динамический коэффициент зависит от...

- времени контакта соударяющихся тел
- возникающих пластических деформаций
- жесткости системы
- предела прочности материала

Задание 11 (Отметьте правильный ответ)

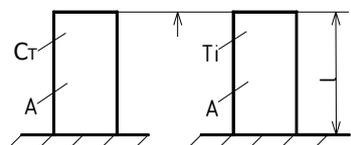
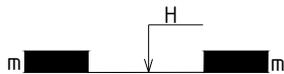
Случай ударного взаимодействия, представленный на рисунке, называется ... ударом



- продольным
- поперечным
- скручивающим
- внецентренным

Задание 12 (Отметьте правильный ответ)

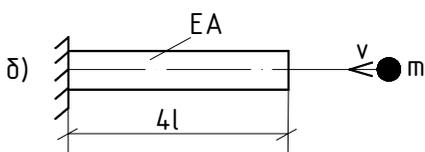
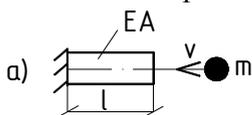
В стальном и титановом стержнях ($E_{Cm} = 2E_{Ti}$) динамические напряжения находятся в следующем соотношении:



- $\sigma_{\delta}^{Cm} > \sigma_{\delta}^{Ti}$
- $\sigma_{\delta}^{Cm} = \sigma_{\delta}^{Ti}$
- $\sigma_{\delta}^{Cm} > 2\sigma_{\delta}^{Ti}$
- $\sigma_{\delta}^{Cm} < \sigma_{\delta}^{Ti}$

Задание 13 (Отметьте правильный ответ)

Динамические напряжения для систем а) и б) находятся в следующем соотношении:



- $\sigma_{\delta}(a) = 0,5\sigma_{\delta}(б)$
- $\sigma_{\delta}(a) = \sigma_{\delta}(б)$
- $\sigma_{\delta}(a) = 2\sigma_{\delta}(б)$
- $\sigma_{\delta}(a) = 4\sigma_{\delta}(б)$

Приложения

Приложение 1

Технологическая карта дисциплины "Сопротивление материалов"

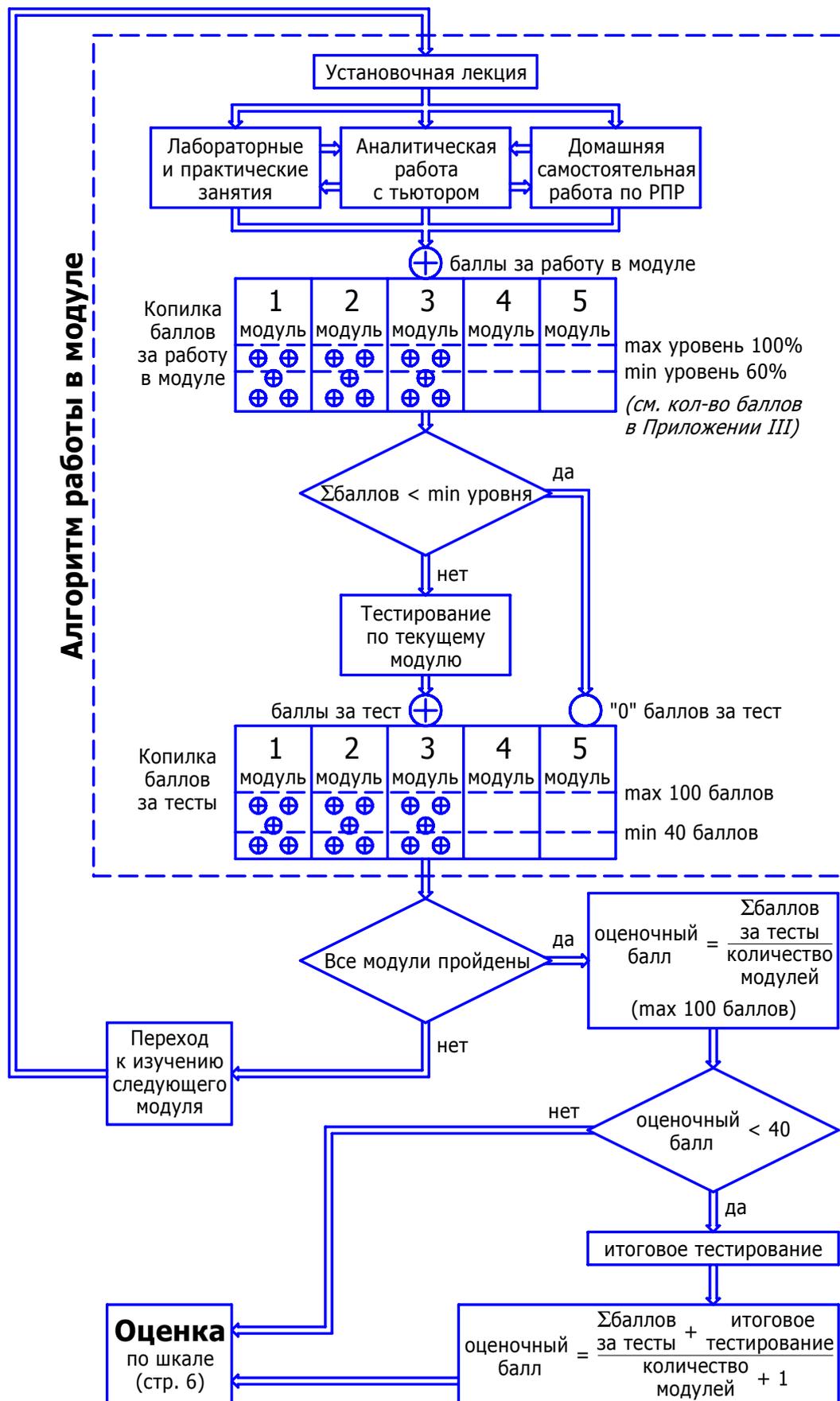
3-й семестр

Шкала Неделя Семестр	№ модуль	Содержание модуля	Кол-во часов лекций	Кол-во часов практик	Кол-во часов лабор.	Вид самост. работы	Схема работы тьютора в модуле	Кол-во часов работы тьютора		Вид контроля	Шкала Неделя Семестр
								групп.	индив.		
1	1	Основные понятия, гипотезы, интегральные уравнения равновесия. Общие теоремы, ВСФ, метод сечений. Построение эпюр	4	2		РПР 1	Определение задач, целей, организационные моменты, резюме		1 час на человека в семестр		1
2			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2				
3			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2				
4			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2				
5			Прием РПР 1	1							
6	2	Постановка задачи оценки прочности и жесткости. Механические характеристики	2		2	РПР 2	Анализ резюме. Акценты по резюме				6
7			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			7				
8	3	Растяжение-сжатие: прочность, жесткость, энергия, интеграл Мора	2	2		РПР 2	Анализ резюме. Акценты по резюме				8
9			Прием РПР 2	1			9				
10	4	Геометрические характеристики плоских сечений	2	2		РПР 3	Анализ резюме. Акценты по резюме				10
11			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			11				
12	5	Изгиб: прочность, жесткость, энергия, интеграл Мора. Сочетание 2-х прямых изгибов, изгиб с растяжением-сжатием	4	2		РПР 3	Анализ резюме. Акценты по резюме				12
13			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2	13			
14			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2	14			
15			Прием РПР 3	1				15			
16			6	Кручение: прочность, жесткость, энергия, интеграл Мора	2		2			РПР 3	Анализ резюме. Акценты по резюме
17	Анализ резюме. Акценты по резюме	1				17					
18	Итоговая неделя: проставление рейтинга							1		зачет, экзамен	18
Итого:			16	14	10			12			

4-й семестр

Шкала Неделя Семестр	№ модуль	Содержание модуля	Кол-во часов лекций	Кол-во часов практик	Кол-во часов лабор.	Вид самост. работы	Схема работы тьютора в модуле	Кол-во часов работы тьютора		Вид контроля	Шкала Неделя Семестр
								групп.	индив.		
1	7	СНС. Метод сил. Приложение к 3-м простым видам деформации: растяжение-сжатие, изгиб, кручение	2	2		РПР 4	Анализ резюме. Акценты по резюме		1 час на человека в семестр		1
2			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2				
3			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2				
4			Анализ резюме. Акценты по резюме	1							
5			Прием РПР 4	1							
6	8	Основы НДС, теории предельного состояния, общий случай нагружения	4	2		РПР 5	Анализ резюме. Акценты по резюме				6
7			Анализ резюме. Акценты по резюме	1			2	7			
8			Прием РПР 5	1				8			
9	9	Устойчивость	2	2		РПР 6	Анализ резюме. Акценты по резюме				9
10			Анализ резюме. Акценты по резюме	1				10			
11			Анализ резюме. Акценты по резюме	1				11			
12	10	Выносливость	2	2		РПР 6	Анализ резюме. Акценты по резюме				12
13			Анализ резюме. Акценты по резюме	1				13			
14	11	Колебания. Удар	4	2		РПР 6	Анализ резюме. Акценты по резюме				14
15			Анализ резюме. Акценты по резюме	1				15			
16			Прием РПР 6	1				16			
17			Итоговая неделя: проставление рейтинга							1	
Итого:			14	14	4			12			

Алгоритм работы студента в модуле и в семестре



Система контроля и оценки знаний

3-й семестр обучения

№ модуля	Работа в модуле (максимальное количество баллов)						Тестирование (max)
	П/з рефлексия	Л/з рефлексия	Л/з протокол	РПР	∑ баллов (max 100%)	Допуск к тестированию (min 60%)	
1	2×5	2×5	2×10	60	100	60	100
2	–	5	10	–	15	9	100
3	5	–	–	40	45	27	100
4	5	–	–	20	25	15	100
5	2×5	2×5	2×10	60	100	60	100
6	5	–	–	–	5	3	100
Максимальный рейтинг в 3-м семестре $\sum_{\max} = 600$							

4-й семестр обучения

№ модуля	Работа в модуле (максимальное количество баллов)						Тестирование (max)
	П/з рефлексия	Л/з рефлексия	Л/з протокол	РПР	∑ баллов (max 100%)	Допуск к тестированию (min 60%)	
7	2×5	5	10	60	85	51	100
8	5	5	10	60	80	48	100
9	5	–	–	20	25	15	100
10	5	–	–	20	25	15	100
11	2×5	–	–	20	30	18	100
Максимальный рейтинг в 4-м семестре $\sum_{\max} = 500$							

Рефлексия

к практическому (лабораторному) занятию по теме

(модуль № _____)

студент _____

группа _____

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Структура рефлексии по теме практического или лабораторного занятия

1. Перечислите понятия, термины, которые вы узнали по данной теме.
2. Пользовались ли вы какими-либо методами расчета (назовите какими, если да).
3. Что конкретно вызвало у вас затруднения при самостоятельном решении задач. Если было всё понятно, напишите алгоритм решения задачи и переходите к п. 5.
4. Каковы, по вашему мнению, причины этих затруднений?
5. По 10-и балльной шкале поставьте оценку эффективности для вас данного занятия.

Титульный лист расчетно-проектировочной работы

Тольяттинский Государственный Университет

**Кафедра
«Материаловедение и Механика Материалов»**

Расчетно-проектировочная работа №__
по теме: _____

Вариант _____

Группа _____

Студент _____

Преподаватель _____

Оценка _____ **Дата** _____

Тольятти
20.....—20..... учебный год

Учебное издание

Гаврилова Татьяна Федоровна
Гордиенко Елена Петровна
Разуваев Александр Александрович

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТУДЕНТА
по дисциплине «Сопротивление материалов»

Часть II

Модульная система обучения (модули № 7-11)

Методическое пособие для студентов
в рамках технологии 30/70

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать _____.____.2006. Формат 240×170

Печать оперативная. Уч.п.л. _____. Уч.-изд.л. _____.

Тираж 400 экз.

Тольяттинский государственный университет
Тольятти, Белорусская, 14.

