МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И ИННОВАЦИЙ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

МОО ВО Кыргызско-Российский Славянский университет
имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина



УТВЕРЖДАЮ

Директор_____
(должность)
_Лоцев Г.В_____
(ФИО)
3 сентября____2026 г.

Сопротивление материалов

рабочая программа дисциплины (модуля)

Разработано **Высшая школа Природопользования, мехатроники и транспорта**

Учебный план Направление 20.03.02 - РФ, 760100 - КР Природообустройство и водопользование
Профиль "Комплексное использование и охрана водных ресурсов"

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**
Часов по учебному плану 108
в том числе:
аудиторные занятия 54
самостоятельная работа 53,8

Виды контроля в семестрах:

зачет с оценкой 3

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	**3 (2.1)**		Итого	
Недель	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	18	18	18	18
Лабораторные	18	18	18	18
Практические	18	18	18	18
Контактная работа в период теоретического обучения	0,2	0,2	0,2	0,2
Итого ауд.	54	54	54	54
Контактная работа	54,2	54,2	54,2	54,2
Сам. работа	53,8	53,8	53,8	53,8
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):
к.ф.-м.н., Герман Константин Анатольевич

к.т.н, Джаманкулов Азамат Кенешбекович

Рецензент(ы):
к.ф.-м.н., Комарцов Никита Михайлович

д.т.н, Муслимов Аннас Поясович

Согласовано РОП:
Ботоканова Бактыгуль Асанкожоевна

Рабочая программа дисциплины
Сопротивление материалов

разработана в соответствии с ФГОС 3++:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование (приказ Минобрнауки России от 26.05.2020 г. № 685)

составлена на основании учебного плана:

Направление 20.03.02 - РФ, 760100 - КР Природообустройство и водопользование
Профиль "Комплексное использование и охрана водных ресурсов"
утвержденного учёным советом вуза от 26.06.2026 протокол № 11.

Рабочая программа одобрена на заседании **Высшей школы Природопользования, мехатроники и транспорта**

Протокол от 02.09.2026 г. № 1
Срок действия программы: 2026-2032 уч.г.
Руководитель подразделения: Алсеитов Мирлан Тилегенович

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ
к рабочей программе дисциплины (модуля)

Сопротивление материалов

№ п/п	Основание внесения изменения	Раздел/ пункт	Содержание изменения
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Изучение основ теории деформирования и методов расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость с обеспечением надежности и экономичности; освоение методов исследования механического сопротивления материалов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.О.3
2.1	**Требования к предварительной подготовке обучающегося:**
2.1.1	Б1.О.2.03. Высшая математика
2.1.2	Б1.О.3.02. Теоретическая механика
2.2	**Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**
2.2.1	Б1.В.1.08. Гидротехнические сооружения водохозяйственных систем
2.2.2	Б1.О.4.11. Строительные конструкции
2.2.3	Б1.В.1.ДВ.09.01. Водохозяйственное строительство
2.2.4	Б1.О.4.12. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
ОПК-2: Способен принимать участие в научно-исследовательской деятельности на основе использования естественнонаучных и технических наук, учета требований экологической и производственной безопасности;	
Знать:	
Уровень 1	- методы научно-исследовательской деятельности в области природообустройства и водопользования; - основы естественнонаучных и технических наук используемые при природообустройстве; - требования экологической и производственной безопасности.
Уровень 2	
Уровень 3	
Уметь:	
Уровень 1	- принимать участие в научно-исследовательской деятельности при обеспечении проектов природообустройства и водопользования; - соблюдать требования экологической и производственной безопасности.
Уровень 2	
Уровень 3	
Владеть:	
Уровень 1	- методами научно-исследовательской деятельности на основе использования законов естественнонаучных и технических наук, с учетом требований экологической и производственной безопасности.
Уровень 2	
Уровень 3	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	**Знать:**
3.1.1	Основные гипотезы и принципы механики материалов: допущения сплошности, однородности, изотропности материала, идеальной упругости, а также гипотезу плоских сечений (гипотезу Бернулли).
3.1.2	Понятия напряженно-деформированного состояния: сущность нормальных и касательных напряжений, линейных и угловых деформаций, а также закон Гука в различных формах.
3.1.3	Геометрические характеристики сечений: физический смысл и методы вычисления статических моментов, осевых, полярных и центробежных моментов инерции, а также положение главных центральных осей.
3.1.4	Основные виды деформаций стержней: теоретические основы центрального растяжения и сжатия, кручения, прямого чистого и поперечного изгиба.
3.1.5	Сложное сопротивление и теории прочности: особенности косого изгиба, внецентренного растяжения-сжатия, совместного действия изгиба и кручения, а также критерии предельных состояний (теории прочности).
3.1.6	Устойчивость и динамику: основы устойчивости сжатых стержней (понятие критической силы, гибкости, формулу Эйлера) и элементы расчета конструкций на динамическое действие нагрузок.
3.2	**Уметь:**

3.2.1	Строить эпюры внутренних силовых факторов: аналитически и графически определять продольные силы (N), поперечные силы (Q), изгибающие моменты (M) и крутящие моменты (M_k) для статически определимых стержневых систем (балок, рам, плоских ферм).
3.2.2	Выполнять расчеты на прочность и жесткость: проводить проверочные и проектные расчеты элементов конструкций при основных видах деформаций с учетом допустимых напряжений.
3.2.3	Производить геометрический расчет сечений: находить главные моменты инерции для стандартных прокатных профилей и сложных составных сечений, сваренных или соединенных из нескольких элементов.
3.2.4	Определять перемещения в упругих системах: вычислять прогибы и углы поворота балок и рам с использованием энергетических методов и правила Верещагина.
3.2.5	Рассчитывать статически неопределимые системы: применять классические методы (например, метод сил) для раскрытия статической неопределимости простейших рам и балок.
3.2.6	Оценивать напряженное состояние в точках: вычислять главные напряжения на площадках и подбирать эквивалентные напряжения по энергетическим теориям прочности.
3.3	**Владеть:**
3.3.1	Методами идеализации и построения расчетных схем: способностью переводить реальные строительные элементы (колонны, балки, перекрытия) в расчетные стержневые модели с определением граничных условий и опорных закреплений.
3.3.2	Инженерным аппаратом оценки несущей способностей: навыками анализа надежности строительных конструкций с точки зрения предотвращения разрушения или недопустимых деформаций.
3.3.3	Профессиональной терминологией: навыками корректного использования технического языка сопротивления материалов при междисциплинарном проектировании.
3.3.4	Нормативным подходом: пониманием теоретических предпосылок и ограничений, которые заложены в действующие строительные нормы и правила (СП / СНиП) при расчете несущих конструкций зданий и сооружений.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем / вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетен-ции	Литература	Инте ракт.	Пр. подг.	Примечание
	Раздел 1. Центральное растяжение и сжатие стержней.							
1.1	Цели и задачи курса сопротивления материалов. Классификация тел, сил. Метод сечения и основные виды нагружения. Напряжение. Перемещение и деформации. /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
1.2	Растяжение и сжатие. Определение и построение эпюр внутренних усилий, напряжений в поперечных сечениях бруса и его перемещения. /Пр/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
1.3	Диаграммы растяжения и сжатия. Основные механические характеристики материала. Допускаемые напряжения. Коэффициент запаса. Три типа расчета по допускаемым напряжениям при растяжении-сжатии. /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
1.4	Статически неопределимые системы при растяжении-сжатии. /Пр/	3	4		Л1.1Л2.1Л3.1			Анализ кейсов
1.5	Центральное растяжение и сжатие стержней /Ср/	3	20		Л1.1Л2.1Л3.1			

	Раздел 2. Чистый сдвиг. Кручение. Геометрические характеристики плоских сечений.							
2.1	Чистый сдвиг. Напряжения, деформации, закон Гука при чистом сдвиге. Связь между модулем упругости и модулем сдвига. Напряжения на наклонных площадках при чистом сдвиге. Потенциальная энергия при чистом сдвиге. /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
2.2	Расчеты на прочность и жесткость при кручении. Статически неопределимые задачи при кручении. /Пр/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
2.3	Геометрические характеристики плоских сечений. Площади и их статические моменты. Определение центра тяжести сечения. Моменты инерции сечений. Основные свойства моментов инерции. Вычисление моментов инерции сложных фигур /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
2.4	Геометрические характеристики плоских сечений. Площади и их статические моменты. Определение центра тяжести сечения. Моменты инерции сечений. Основные свойства моментов инерции. Вычисление моментов инерции сложных фигур. Преобразование моментов инерции при параллельном переносе осей координат. Преобразование моментов инерции при повороте осей координат. Главные оси и главные моменты инерции. Понятие о радиусе инерции. /Пр/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
2.5	Чистый сдвиг. Кручение. Геометрические характеристики плоских сечений. /Ср/	3	18		Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 3. Прямой поперечный изгиб.							
3.1	Понятие об изгибе. Поперечные силы и изгибающие моменты. Дифференциальные зависимости между интенсивностью распределенной нагрузки (q), поперечной силой (Q) и изгибающим моментом (M).Нормальные напряжения при чистом изгибе и поперечном изгибе. Три типа расчета на прочность при изгибе по нормальным напряжениям. /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			

3.2	Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. / Пр/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
3.3	Касательные напряжения при поперечном изгибе. Формула Журавского. Проверка прочности балок по касательным напряжениям. /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
3.4	Касательные напряжения при поперечном изгибе. Формула Журавского. /Пр/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
3.5	Прямой поперечный изгиб /Ср/	3	9,8		Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 4. Напряженное состояние в точке. Общий случай деформации бруса.							
4.1	Виды напряженного состояния. Главные площадки, главные напряжения, главные оси. Напряжения на наклонных площадках при линейном напряженном состоянии /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
4.2	Виды напряженного состояния. Главные площадки, главные напряжения, главные оси. Напряжения на наклонных площадках при линейном напряженном состоянии /Пр/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
4.3	Плоское напряженное состояние. Напряжения на наклонных площадках (прямая задача). Круги Мора /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
4.4	Плоское напряженное состояние. Напряжения на наклонных площадках (прямая задача). /Пр/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
4.5	Объемное напряженное состояние. Обобщенный закон Гука. Объемная деформация. Удельная потенциальная энергия деформации и её составляющие: удельная энергия изменения объема и удельная энергия изменения формы. /Лек/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
4.6	Напряженное состояние в точке. Общий случай деформации бруса. /Ср/	3	6		Л1.1Л2.1Л3.1			
4.7	Консультации и прием экзамена / КрТО/	3	0,2					
	Раздел 5. Лабораторный практикум							
5.1	Растяжение цилиндрического образца. Построение диаграммы напряжения - деформации /Лаб/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
5.2	Сжатие образца из хрупкого материала /Лаб/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
5.3	Чистый изгиб /Лаб/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			

5.4	Определение модуля упругости /Лаб/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
5.5	Определение модуля Пуассона / Лаб/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
5.6	Определение коэффициента ударной вязкости /Лаб/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
5.7	Определение жесткости пружины /Лаб/	3	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
5.8	Сложное напряженное состояние в точке. Кручение трубчатого образца /Лаб/	3	4		Л1.1Л2.1Л3.1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Контрольные вопросы и задания

При текущем контроле используются изученные темы. После каждого вопроса приведены опорные элементы ответа для преподавателя. На промежуточной аттестации допускается привлечение ранее изученных методов, необходимых для обоснования решения.

В1. Почему расчётная схема должна содержать ограничения применимости?

Опорный ответ. Нужно назвать идеализацию геометрии, материала, нагрузок и связей и указать условия, при которых отброшенные эффекты становятся существенными.

В2. Как проверить эпюру внутреннего силового фактора?

Опорный ответ. Проверить равновесие отсечённой части, значения на концах, скачки и размерности; правило знаков должно быть единым.

В3. Когда допустима формула удлинения NL/(EA)?

Опорный ответ. Для призматического участка при постоянных N и E, центральном нагружении и линейно-упругом поведении; в общем случае используют интеграл N/(EA).

В4. Почему равновесия недостаточно для стержня между жёсткими опорами?

Опорный ответ. Реакций больше числа независимых уравнений равновесия; нужны совместность деформаций и физические соотношения с учётом температуры или монтажного натяга.

В5. Чем различаются жёсткость и прочность материала?

Опорный ответ. Модуль упругости задаёт наклон упругого участка диаграммы, а предел текучести или прочности — соответствующую границу напряжений; одно не следует из другого.

В6. Почему палец проверяют и на срез, и на смятие?

Опорный ответ. Это разные механизмы повреждения с разными расчётными площадями; определяет меньшая допустимая нагрузка.

В7. Зачем находить главные центральные оси сечения?

Опорный ответ. На этих осях центробежный момент инерции равен нулю, что позволяет независимо учитывать два изгибающих момента.

В8. Можно ли применять формулу кручения круглого вала к швеллеру?

Опорный ответ. Нет: гипотеза отсутствия депланации и распределение напряжений круглого сечения неприменимы к открытому профилю.

В9. Какие величины сохраняются при повороте осей плоского напряжённого состояния?

Опорный ответ. Сумма нормальных напряжений и определитель плоского тензора; главные напряжения не зависят от выбора осей.

В10. Почему Мизес и Треска не реагируют на чистое гидростатическое напряжение?

Опорный ответ. Оба критерия начала текучести пластичного металла определяются девиатором напряжений; гидростатическая часть не создаёт формоизменения.

В11. Где возможен экстремум изгибающего момента?

Опорный ответ. Внутри гладкого участка там, где поперечная сила равна нулю; отдельно проверяют границы участков и точки скачков.

В12. Почему увеличение высоты прямоугольной балки эффективно при изгибе?

Опорный ответ. Момент сопротивления относительно оси, параллельной ширине, равен $bh^2/6$; при фиксированной ширине растёт квадратично по высоте.

В13. Где максимальны касательные напряжения в прямоугольном сечении?

Опорный ответ. На нейтральной оси; максимум равен 1,5Q/A в рамках формулы Журавского.

В14. Какие граничные условия задают для консоли?

Опорный ответ. В заделке нулевые прогиб и угол поворота; на свободном конце момент и поперечная сила соответствуют приложенным концевым воздействиям.

В15. Как найти перемещение в направлении отсутствующей силы по Кастильяно?

Опорный ответ. Ввести вспомогательную силу, продифференцировать энергию по ней и затем приравнять вспомогательную силу нулю.

В16. Чем отличается единичный момент от единичной силы при расчёте перемещений?

Опорный ответ. Единичный момент определяет сопряжённый угол поворота, единичная сила — линейное перемещение в выбранном направлении.

В17. Как проверить решение методом сил?

Опорный ответ. Проверить равновесие итоговой системы и выполнение совместности в удалённых связях; грузовые и единичные состояния должны относиться к одной основной системе.
В18. Всегда ли нейтральная линия при косом изгибе перпендикулярна силе?
Опорный ответ. Нет; её положение зависит от отношения главных моментов инерции и компонент изгибающего момента.
В19. Что означает попадание сжимающей силы в ядро сечения?
Опорный ответ. В рамках линейного распределения напряжений всё сечение сжато или имеет нулевое напряжение на границе; растяжения нет.
В20. Почему при изгибе с кручением нельзя просто сложить максимальные напряжения?
Опорный ответ. Нормальные и касательные компоненты различны; их объединяют в одной точке по выбранному критерию прочности.
В21. Когда формула Эйлера завышает допустимую нагрузку?
Опорный ответ. Когда критическое напряжение выходит за предел пропорциональности или модель идеального прямого стержня не отражает несовершенства и эксцентриситет.
В22. Что постоянно вдоль однозамкнутого тонкостенного контура при кручении?
Опорный ответ. Касательный поток q=T/(2A_m); напряжение q/t меняется при изменении толщины стенки.
В23. Почему нейтральная ось кривого бруса не проходит через центр тяжести?
Опорный ответ. Исходная кривизна приводит к нелинейному по радиусу распределению продольной деформации и гиперболическому распределению напряжений.
В24. Доказывает ли сходимость сетки правильность физической модели?
Опорный ответ. Нет: она проверяет численное решение принятой модели; для валидации нужны независимые экспериментальные данные и оценка погрешностей.

5.2. Темы курсовых работ (проектов)

Курсовых работ не предусмотрено

5.3. Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств
Порядок использования и охват содержания
Вопросы В1–В24, практические ПР1–ПР24 и самостоятельные СР1–СР24 соответствуют лекциям с теми же номерами. Расчётный банк содержит 12 заданий; тестовый банк — 12 заданий. Численные данные являются учебными и не заменяют характеристики конкретной марки материала или нормативные допускаемые значения.

Семестр	Вопросы	Расчётные задания	Текущие средства
3	В1–В12	К1–К6	Т1–Т6; РГР1–РГР2; ПР1–ПР12
4	В13–В24	К7–К12	Т7–Т12; РГР3–РГР4; ПР13–ПР24; ЛР1–ЛР9

Контрольные вопросы и задания для текущего контроля и промежуточной аттестации
При текущем контроле используются изученные темы. После каждого вопроса приведены опорные элементы ответа для преподавателя. На промежуточной аттестации допускается привлечение ранее изученных методов, необходимых для обоснования решения.
В1. Почему расчётная схема должна содержать ограничения применимости?
Опорный ответ. Нужно назвать идеализацию геометрии, материала, нагрузок и связей и указать условия, при которых отброшенные эффекты становятся существенными.
В2. Как проверить эпюру внутреннего силового фактора?
Опорный ответ. Проверить равновесие отсечённой части, значения на концах, скачки и размерности; правило знаков должно быть единым.
В3. Когда допустима формула удлинения NL/(EA)?
Опорный ответ. Для призматического участка при постоянных N и E, центральном нагружении и линейно-упругом поведении; в общем случае используют интеграл N/(EA).
В4. Почему равновесия недостаточно для стержня между жёсткими опорами?
Опорный ответ. Реакций больше числа независимых уравнений равновесия; нужны совместность деформаций и физические соотношения с учётом температуры или монтажного натяга.
В5. Чем различаются жёсткость и прочность материала?
Опорный ответ. Модуль упругости задаёт наклон упругого участка диаграммы, а предел текучести или прочности — соответствующую границу напряжений; одно не следует из другого.
В6. Почему палец проверяют и на срез, и на смятие?
Опорный ответ. Это разные механизмы повреждения с разными расчётными площадями; определяет меньшая допустимая нагрузка.
В7. Зачем находить главные центральные оси сечения?
Опорный ответ. На этих осях центробежный момент инерции равен нулю, что позволяет независимо учитывать два изгибающих момента.
В8. Можно ли применять формулу кручения круглого вала к швеллеру?
Опорный ответ. Нет: гипотеза отсутствия депланации и распределение напряжений круглого сечения неприменимы к открытому профилю.
В9. Какие величины сохраняются при повороте осей плоского напряжённого состояния?
Опорный ответ. Сумма нормальных напряжений и определитель плоского тензора; главные напряжения не зависят от выбора осей.
В10. Почему Мизес и Треска не реагируют на чистое гидростатическое напряжение?
Опорный ответ. Оба критерия начала текучести пластичного металла определяются девиатором напряжений; гидростатическая часть не создаёт формоизменения.

В11. Где возможен экстремум изгибающего момента?
Опорный ответ. Внутри гладкого участка там, где поперечная сила равна нулю; отдельно проверяют границы участков и точки скачков.
В12. Почему увеличение высоты прямоугольной балки эффективно при изгибе?
Опорный ответ. Момент сопротивления относительно оси, параллельной ширине, равен $bh^2/6$; при фиксированной ширине растёт квадратично по высоте.
В13. Где максимальны касательные напряжения в прямоугольном сечении?
Опорный ответ. На нейтральной оси; максимум равен 1,5Q/A в рамках формулы Журавского.
В14. Какие граничные условия задают для консоли?
Опорный ответ. В заделке нулевые прогиб и угол поворота; на свободном конце момент и поперечная сила соответствуют приложенным концевым воздействиям.
В15. Как найти перемещение в направлении отсутствующей силы по Кастильяно?
Опорный ответ. Ввести вспомогательную силу, продифференцировать энергию по ней и затем приравнять вспомогательную силу нулю.
В16. Чем отличается единичный момент от единичной силы при расчёте перемещений?
Опорный ответ. Единичный момент определяет сопряжённый угол поворота, единичная сила — линейное перемещение в выбранном направлении.
В17. Как проверить решение методом сил?
Опорный ответ. Проверить равновесие итоговой системы и выполнение совместности в удалённых связях; грузовые и единичные состояния должны относиться к одной основной системе.
В18. Всегда ли нейтральная линия при косом изгибе перпендикулярна силе?
Опорный ответ. Нет; её положение зависит от отношения главных моментов инерции и компонент изгибающего момента.
В19. Что означает попадание сжимающей силы в ядро сечения?
Опорный ответ. В рамках линейного распределения напряжений всё сечение сжато или имеет нулевое напряжение на границе; растяжения нет.
В20. Почему при изгибе с кручением нельзя просто сложить максимальные напряжения?
Опорный ответ. Нормальные и касательные компоненты различны; их объединяют в одной точке по выбранному критерию прочности.
В21. Когда формула Эйлера завышает допустимую нагрузку?
Опорный ответ. Когда критическое напряжение выходит за предел пропорциональности или модель идеального прямого стержня не отражает несовершенства и эксцентриситет.
В22. Что постоянно вдоль однозамкнутого тонкостенного контура при кручении?
Опорный ответ. Касательный поток $q=T/(2A_m)$; напряжение q/t меняется при изменении толщины стенки.
В23. Почему нейтральная ось кривого бруса не проходит через центр тяжести?
Опорный ответ. Исходная кривизна приводит к нелинейному по радиусу распределению продольной деформации и гиперболическому распределению напряжений.
В24. Доказывает ли сходимость сетки правильность физической модели?
Опорный ответ. Нет: она проверяет численное решение принятой модели; для валидации нужны независимые экспериментальные данные и оценка погрешностей.
Расчётные задания и эталоны ответов
Ориентировочное время одной задачи — 25–35 минут, более сложной — до 40 минут. Допускается непрограммируемый калькулятор. Схему изображают по условию; единицы согласуют до подстановки чисел. Эталон служит для проверки преподавателем.
К1. Центральное растяжение
Семестр 3; лекции 3.
Стальной стержень длиной 1000 мм и площадью 200 мм² растянут силой 40 кН. E=200000 МПа, предел текучести 300 МПа. Найдите напряжение, удлинение и запас по текучести.
Эталон. $\sigma=P/A=200$ МПа; $\Delta=PL/(EA)=1{,}00$ мм; $n=300/200=1{,}50$.
К2. Стеснённое температурное расширение
Семестр 3; лекции 4.
Прямой стержень площадью 300 мм² закреплён между абсолютно жёсткими опорами без зазора и нагрет на 40 °C. E=200000 МПа, $\alpha=12\cdot10^{-6}\ °C^{-1}$. Найдите температурное напряжение и продольную силу; потерю устойчивости не учитывать.
Эталон. $\sigma=-E\alpha\Delta T=-96$ МПа; $N=\sigma A=-28{,}8$ кН. Знак минус соответствует сжатию; полное удлинение равно нулю.
К3. Палец в двухсрезном соединении
Семестр 3; лекции 6.
Сила 30 кН передаётся центральной проушиной толщиной 8 мм на две наружные щеки толщиной по 6 мм. Нагрузка между щеками делится поровну. Палец диаметром 12 мм, допускаемые напряжения среза 100 МПа и смятия 200 МПа. Проверьте палец и подберите диаметр с округлением вверх до целого миллиметра; изгиб пальца не учитывать.
Эталон. $\tau=F/(2\pi d^2/4)=132{,}6$ МПа; смятие центральной проушины 312,5 МПа, каждой щеки 208,3 МПа. d по срезу ≥13,82 мм, по центральной проушине ≥18,75 мм, по наружной щеке ≥12,50 мм. Минимальный целый диаметр 19 мм.
К4. Прочность и жёсткость круглого вала
Семестр 3; лекции 8.
Сплошной вал длиной 1000 мм передаёт момент 1 кН·м. G=80000 МПа, допускаемое касательное напряжение 80 МПа, допустимый угол 2°. Проверьте диаметр 40 мм и найдите минимальный расчётный диаметр.
Эталон. При d=40 мм: $\tau=16T/(\pi d^3)=79{,}58$ МПа; $\varphi=32TL/(\pi Gd^4)=0{,}04974$ рад=2,85°. Прочность обеспечена, жёсткость не обеспечена. По прочности d≥39,93 мм, по жёсткости d≥43,70 мм; определяет жёсткость.
К5. Главные и эквивалентные напряжения
Семестр 3; лекции 9–10.

В точке σx=80 МПа, σy=−20 МПа, τxy=30 МПа, остальные компоненты равны нулю. Найдите три главных напряжения, эквивалентные напряжения Треска и Мизеса и запас по Мизесу при пределе текучести 240 МПа.
Эталон. Главные напряжения по убыванию: 88,31; 0; −28,31 МПа. σэкв,T=116,62 МПа; σэкв,M=√(σx²−σxσy+σy²+3τxy²)=105,36 МПа; n=2,28.
К6. Прочность балки при прямом изгибе
Семестр 3; лекции 11–12.
Шарнирно опёртая по концам балка пролётом 2000 мм нагружена посередине силой 10 кН. Сечение прямоугольное: ширина 40 мм, высота 80 мм. Найдите реакции, максимальный момент и максимальное нормальное напряжение.
Эталон. Реакции по 5 кН; Mmax=PL/4=5 кН·м; I=bh³/12=1,7067·10⁶ мм⁴; W=bh²/6=42666,7 мм³; σmax=117,19 МПа.
К7. Прогиб и касательное напряжение балки
Семестр 4; лекции 13–14.
Для балки К6 принять E=200000 МПа. Найдите максимальное касательное напряжение и прогиб; проверьте допустимый прогиб L/400.
Эталон. τmax=1,5Q/A=2,344 МПа в сечениях вне точки приложения силы; fmax=PL³/(48EI)=4,883 мм. Допустимый прогиб 5 мм; условие выполнено.
К8. Энергетический расчёт удлинения
Семестр 4; лекции 15.
Ступенчатый стержень состоит из двух последовательных участков длиной по 500 мм, площадями 200 и 400 мм², E=200000 МПа. На свободном конце сила 30 кН, второй конец закреплён. Определите энергию деформации и перемещение конца методом Кастильяно.
Эталон. U=P²/(2E)·(L1/A1+L2/A2)=8437,5 Н·мм=8,4375 Дж. Δ=∂U/∂P=0,5625 мм.
К9. Балка с одной лишней опорой
Семестр 4; лекции 16–17.
Балка длиной 2 м защемлена слева и шарнирно опёрта справа. По всему пролёту действует q=2 кН/м вниз, EI постоянно. Методом сил найдите реакции и момент заделки.
Эталон. Совместность: qL⁴/(8EI)−RB·L³/(3EI)=0. RB=3qL/8=1,5 кН вверх; RA=2,5 кН вверх; момент внешней реакции заделки 1 кН·м против часовой стрелки. Внутренний момент у заделки −1 кН·м при положительном прогибающем моменте.
К10. Вал при изгибе и кручении
Семестр 4; лекции 20.
В опасном сечении круглого вала диаметром 40 мм изгибающие моменты My=0,6 кН·м и Mz=0,8 кН·м, крутящий момент 0,8 кН·м. Предел текучести 300 МПа. Найдите напряжения в наиболее нагруженной точке и запас по Мизесу без концентраторов.
Эталон. M=√(My²+Mz²)=1 кН·м; σ=32M/(πd³)=159,15 МПа; τ=16T/(πd³)=63,66 МПа; σэкв=√(σ²+3τ²)=193,62 МПа; n=1,55.
К11. Эйлерова устойчивость стойки
Семестр 4; лекции 21.
Прямой шарнирно закреплённый по концам стержень длиной 2000 мм имеет круглое сечение диаметром 30 мм. E=200000 МПа, предел пропорциональности 200 МПа. Найдите критическую силу, проверьте применимость Эйлера и запас при силе 10 кН.
Эталон. I=πd⁴/64=39760,8 мм⁴; i=d/4=7,5 мм; λ=266,67; Pcr=π²EI/L²=19,62 кН; σcr=27,76 МПа<200 МПа. Упругая формула применима; nуст=1,96 для идеального стержня.
К12. Замкнутый тонкостенный профиль
Семестр 4; лекции 22.
Однозамкнутая тонкостенная труба имеет квадратный срединный контур 100×100 мм, постоянную толщину 2 мм, длину 1000 мм. Момент 1 кН·м, G=80000 МПа. Найдите касательный поток, напряжение и угол закручивания по модели Бредта.
Эталон. Am=10000 мм²; q=T/(2Am)=50 Н/мм; τ=q/t=25 МПа. Jt=4Am²/(∮ds/t)=2·10⁶ мм⁴; φ=TL/(GJt)=0,00625 рад=0,358°.
Тестовые задания
В каждом задании один правильный ответ. Комплект из 6 заданий рассчитан на 10 минут. Т1–Т6 относятся к 3-му семестру, Т7–Т12 — к 4-му.
Т1. Удвоение длины призматического растянутого стержня при неизменных P, E и A изменяет удлинение
А уменьшает вдвое; Б увеличивает вдвое; В не изменяет; Г увеличивает вчетверо.
Т2. При полностью стеснённом равномерном нагреве прямого стержня возникает
А только растяжение; Б нулевое напряжение; В сжатие; Г только кручение.
Т3. Размерность момента инерции площади
А мм; Б мм²; В мм³; Г мм⁴.
Т4. При кручении круглого сплошного вала максимум касательного напряжения расположен
А на оси; Б на поверхности; В везде одинаков; Г только у опоры при любом нагружении.
Т5. Начало текучести по Мизесу при чистом гидростатическом состоянии
А определяется удвоенным давлением; Б определяется средним напряжением; В не прогнозируется этим критерием; Г всегда наступает.
Т6. Внутри гладкого участка балки условие Q=0 указывает на возможный
А экстремум M; Б разрыв прогиба; В обязательный нуль M; Г разрыв угла поворота.
Т7. В формуле Журавского величина Q обозначает
А продольную силу; Б крутящий момент; В поперечную силу; Г осадку опоры.
Т8. Производная энергии по вспомогательному моменту определяет
А температуру; Б угол поворота; В площадь сечения; Г модуль упругости.
Т9. Удвоение длины идеальной шарнирной стойки при постоянном EI меняет Pcr
А увеличивает вдвое; Б уменьшает вдвое; В уменьшает вчетверо; Г не изменяет.
Т10. При замкнутом одноконтурном кручении и переменной толщине постоянно

А касательное напряжение; Б нормальное напряжение; В касательный поток; Г толщина.
Т11. Сравнение сеток в МКЭ непосредственно проверяет
А экспериментальную достоверность материала; Б численную сходимость выбранной модели; В вероятность отказа; Г точность всех граничных условий.
Т12. На дополнительной неподвижной шарнирной опоре балки обязательно равен нулю
А изгибающий момент в любом сечении; Б угол поворота; В прогиб; Г поперечная сила.
Ключи: Т1 — Б; Т2 — В; Т3 — Г; Т4 — Б; Т5 — В; Т6 — А; Т7 — В; Т8 — Б; Т9 — В; Т10 — В; Т11 — Б; Т12 — В.
Расчётно графические работы
В каждом семестре предлагаются две работы. Письменный расчёт выполняется в рамках самостоятельной работы, защита занимает 5–7 минут соответствующего практического занятия. При изменении исходных чисел преподаватель предварительно пересчитывает эталон.
РГР1. Растяжение и кручение
Семестр 3; лекции 3–8; задания К1, К2, К4.
Выполнить расчёт по исходным данным К1, К2 и К4; представить эпюры, перемещения и выбор определяющего условия. Сравнить исходный вал с трубчатым при той же площади сечения, приняв dвн/dнар=0,6.
РГР2. Прочность балки и напряжённое состояние
Семестр 3; лекции 7, 9–12; задания К5, К6.
По К5 проверить точку по двум критериям; по К6 подобрать высоту прямоугольного сечения при b=40 мм и допускаемом нормальном напряжении 100 МПа, округлив высоту вверх до целого миллиметра.
РГР3. Прочность и жёсткость балочной системы
Семестр 4; лекции 13–17, 24; задания К7, К9.
Решить К7 и К9. Для К7 построить балочную или объёмную конечноэлементную модель на трёх последовательно сгущаемых сетках. Сравнить реакции и прогиб; для объёмной модели отдельно объяснить влияние поперечного сдвига.
РГР4. Сложное сопротивление и устойчивость
Семестр 4; лекции 18–23; задания К10–К12.
Решить К10–К12. Для К10 подобрать диаметр при требуемом запасе 2,0. Для К11 определить максимальную длину идеального стержня при запасе устойчивости 2,0 и заданной силе 10 кН.
Требования к результату: исходная схема, допущения, уравнения и единицы, расчёт и эпюры, независимая проверка, инженерный вывод. Для вычислительной части прилагаются исходные параметры модели и таблица сравнения результатов.
Ориентиры для проверки расчётно графических работ
РГР1: при отношении диаметров 0,6 и равной площади наружный диаметр трубчатого вала равен 1,25 диаметра сплошного; полярный момент инерции возрастает в 2,125 раза, угол закручивания составляет 0,4706 исходного. РГР2: требуемая высота балки 86,60 мм, после округления 87 мм. РГР4: требуемый диаметр вала 43,55 мм; максимальная длина идеальной стойки около 1981 мм.
Защита лабораторных работ
Оцениваются фактически выполненные эксперименты. Отчёт содержит схему установки, сведения об образце и измерителях, исходные измерения, обработку, единицы и оценку погрешности, сравнение с моделью и вывод. Измеренные данные не заменяются расчётными без явного указания. При отсутствии установки название и способ проведения соответствующей работы согласуются отдельно.

- Какое расчётное предположение проверяется данным экспериментом?
- Какие величины измерены непосредственно, а какие получены расчётом?
- Как определены чувствительность измерителя и погрешность результата?
- Какие физические причины могут объяснить расхождение с расчётной моделью?

Примеры билетов промежуточной аттестации
Билет содержит два теоретических вопроса и одну расчётную задачу. Рекомендуемое время — 60 минут. Условия и опорные ответы приведены в банках выше; дополнительные билеты формируются с сохранением сопоставимой сложности.

Билет	Семестр	Вопросы	Задача
3.1	3	В1, В3	К1
3.2	3	В4, В5	К2
3.3	3	В7, В8	К4
3.4	3	В9, В10	К5
4.1	4	В13, В14	К7
4.2	4	В15, В16	К8
4.3	4	В17, В19	К9
4.4	4	В21, В24	К11

Критерии оценивания
Предлагаемая шкала применяется к каждому виду работы отдельно. Сведение результатов текущего контроля и промежуточной аттестации в итоговую оценку выполняется по локальному порядку университета; обязательные веса и условия допуска здесь не устанавливаются.

Средство	Баллы	Распределение баллов
Устный вопрос	5	Определения и смысл — 1; допущения — 1; корректные связи и формулы — 2; вывод — 1.
Тест из 6 заданий	6	Один правильный ответ — 1; неверный или пропущенный — 0.
Одна расчётная задача	20	Схема и допущения — 4; уравнения и метод — 6; вычисления и единицы — 6; проверки и вывод — 4.
РГР	30	Схема и данные — 4; расчётная модель — 6; вычисления и эпюры — 8; независимая проверка и анализ — 6; индивидуальная защита — 6.
Лабораторная работа	20	Схема и условия — 3; исходные измерения — 5; обработка и погрешность — 5;

сопоставление с моделью — 3; защита — 4.
Билет 40 Каждый теоретический вопрос — до 10; расчётная задача — до 20. Для вопроса: определения — 2; допущения — 2; объяснение связей — 4; инженерный вывод — 2.

Для РГР3 в категории «Независимая проверка и анализ» 2 балла отводятся на равновесие реакций, 2 — на сравнение с аналитическим прогибом, 2 — на сеточную сходимость и объяснение расхождений. Значение прогиба сравнивается с согласованной балочной либо объёмной идеализацией; одно универсальное допустимое расхождение для разных моделей не задаётся.
Эталоны численных ответов приведены с округлением. При совпадении модели допускается расхождение в пределах 1% из-за округления; корректный альтернативный способ и обоснованная повышенная точность оцениваются одинаково. Ошибка в единицах оценивается в части вычислений, а не обнуляет верную постановку. Если ошибка делает решение другой физической задачей, баллы за соответствующие уравнения и вывод не начисляются.

Уровень	Билет из 40	Доля от максимума	Содержательный ориентир
Отлично	34–40	85–100%	Корректная модель, обоснованный расчёт и самостоятельный вывод.
Хорошо	28–33	70–менее 85%	Основное решение верно; имеются отдельные неточности.
Удовлетворительно	20–27	50–менее 70%	Показано понимание основных связей и получено частично верное решение.
Неудовлетворительно	0–19	Менее 50%	Не раскрыты ключевые связи либо расчёт не подтверждает понимание модели.

При использовании формата «зачтено / не зачтено» предлагаемый порог — 50% максимума. Оценка за теорию и расчёт показывается раздельно; достижение суммарного порога не заменяет требования продемонстрировать основной метод расчёта. Если в расчётной части билета набрано менее 10 из 20 баллов, положительная оценка по предложенному варианту не

5.4. Перечень видов оценочных средств

Устный опрос по контрольным вопросам.
Короткие тематические тесты.
Письменные расчётные контрольные работы.
Расчётно-графические работы с индивидуальной защитой.
Проверка вычислительной модели и сопоставление с аналитическим решением.
Билеты промежуточной аттестации.
Отчёты о лабораторных работах и их защита.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Дарков А.В.	Сопротивление материалов: учебник для техн. вузов	М.: Высшая школа 1989

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Горшков А.Г., Трошин В. Н., Шалашилин В. И.	Сопротивление материалов: учебное пособие	М.: ФИЗМАТЛИТ 2002

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Кривошапко С.Н.	Сопротивление материалов: лекции, семинары, расчетно-графические работы: учебник для бакалавров	М.: Юрайт 2013

6.3. Перечень информационных и образовательных технологий

6.3.1 Компетентностно-ориентированные образовательные технологии

6.3.1.1	FreeCAD с рабочей средой FEM — подготовка геометрии, сетки, условий нагружения и просмотр результатов простой модели. Официальный учебный материал: https://blog.freecad.org/2025/09/16/getting-started-with-fem/ .
6.3.1.2	CalculiX — конечноэлементный решатель для контрольных статических и динамических расчётов. Применяется самостоятельно либо в согласованной связке с FreeCAD FEM. Официальный сайт: https://www.calculix.de/ .
6.3.1.3	Python 3 с NumPy, SciPy и Matplotlib — решение систем уравнений, интегрирование, параметрические расчёты и построение эпюр. Документация: https://docs.python.org/3/ и https://docs.scipy.org/doc/scipy/ .
6.3.1.4	JupyterLab — воспроизводимые расчётные записки с исходными данными, кодом, графиками и выводами. Документация: https://jupyterlab.readthedocs.io/en/stable/ .
6.3.1.5	code_aster — альтернативный конечноэлементный решатель для углублённой проверки механических моделей при наличии подготовленной учебной среды. Официальный сайт: https://code-aster.org/en .

6.3.2 Перечень информационных справочных систем и программного обеспечения

6.3.2.1	eLIBRARY.RU — поиск научных публикаций по прочности, устойчивости, усталости и экспериментальной механике. https://elibrary.ru/ . Доступ к полным текстам зависит от условий конкретного ресурса.

6.3.2.2	КиберЛенинка — поиск открытых научных статей и сопоставление применяемых расчётных подходов. https://cyberleninka.ru/ . Качество и применимость каждой найденной публикации оцениваются отдельно.
6.3.2.3	NIST Standard Reference Data — каталог справочных наборов физических и материаловедческих данных. https://www.nist.gov/srd . Для расчёта выбирается конкретный набор с проверкой материала, температуры, метода измерения и единиц; каталог не заменяет паспорт конкретного сплава.
6.3.2.4	Справочная документация CalculiX — постановки задач, элементы, граничные условия и проверочные примеры; доступ через разделы официального сайта https://www.calculix.de/ .
6.3.2.5	MIT OpenCourseWare — открытые учебные материалы по механике конструкций и энергетическим методам: https://ocw.mit.edu/courses/2-080j-structural-mechanics-fall-2013/pages/lecture-notes/ . Материалы курса 2013 года используются как фундаментальный учебный источник

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Работа с лекционным материалом

Изучайте материал в порядке лекций. Перед новой темой восстановите обозначения, правила знаков и физические предпосылки предыдущей. В конспекте для каждой расчётной зависимости фиксируйте назначение, размерности и ограничения применимости. Различайте свойства материала E, G, предел текучести и характеристики сечения A, I, W.

После лекции ответьте на соответствующий вопрос Bi и выполните CPi. Если ответ сводится к воспроизведению формулы, дополните его объяснением расчётной схемы, физического смысла результата и условий, при которых формула становится неприменимой.

Последовательность решения расчётной задачи

- Изобразите объект и расчётную схему, подпишите размеры, нагрузки, закрепления и оси. Переведите исходные величины в согласованную систему единиц.
- Определите реакции и внутренние усилия; выделите участки, постройте необходимые эпюры и найдите опасные сечения.
- Выберите физические соотношения и критерий предельного состояния. Проверьте применимость линейной, балочной, тонкостенной или иной используемой модели.
- Вычислите напряжения, перемещения, критическую нагрузку или ресурс. Для сложного сопротивления сочетайте компоненты в одной и той же точке.
- Проверьте равновесие, граничные условия, размерности и предельные случаи. По возможности выполните независимый расчёт другим способом.
- Сопоставьте результат с принятым ограничением и сформулируйте вывод: определяющее условие, величина запаса и допустимость выбранной конструкции.

Выполнение расчётно графических работ

Решение должно позволять другому человеку воспроизвести расчёт. Приводите промежуточные величины, обозначения и единицы, а не только итоговые числа. Эпюры выполняйте с подписями осей, знаков и характерных значений. В электронных таблицах и программах сохраняйте исходные параметры отдельно от формул; отмечайте источник свойств материала.

На защите будьте готовы объяснить выбор схемы и критерия, показать независимую проверку и оценить, как результат изменится при изменении одного параметра. Использование программного решения не отменяет необходимости понимать постановку и физический смысл результата.

Подготовка и выполнение лабораторной работы

До занятия изучите схему испытания и порядок работы с установкой. Нагрузку прикладывайте только по указанию преподавателя и правилам конкретной лаборатории. Записывайте фактические размеры образца, показания и единицы непосредственно во время опыта. В отчёте отделяйте исходные измерения от вычисленных значений, оценивайте погрешность и объясняйте возможные причины расхождения с теорией.

Использование вычислительных средств

Начинайте с задачи, для которой существует аналитическое решение. Сначала проверьте единицы, закрепления и сумму реакций; затем сравните перемещения и номинальные напряжения. Используйте несколько сеток и сохраняйте значения одной и той же величины в одном и том же месте. Для точки приложения идеализированной силы или острого угла не принимайте автоматически наибольшее узловое напряжение за расчётную характеристику прочности.

При анализе устойчивости отличайте собственное значение идеальной модели от допускаемой нагрузки реальной несовершенной конструкции. При оценке усталости указывайте параметры цикла и уже учтённые поправки. Для динамической задачи фиксируйте принятые массу, жёсткость, демпфирование и вид воздействия.

Подготовка к текущему контролю и аттестации

Проверьте себя по вопросам соответствующего семестра. Решите задачи без просмотра эталонов, затем сопоставьте постановку и численные ответы. Ошибки разбирайте по причинам: схема, знак, свойство материала, характеристика сечения, единица или критерий. Перед аттестацией выполните один билет с ограничением времени. На ответе сначала объясните модель и ход решения, затем приведите формулы и вывод.