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 (продвинутый курс)

рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Высшая школа Природопользования, мехатроники и транспорта**

Учебный план Направление 15.03.03 - РФ, 650500 - КР Прикладная механика
Профиль "Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг"

Квалификация **бакалавр**
Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**
Часов по учебному плану 144
в том числе:
аудиторные занятия 48
самостоятельная работа 62

Виды контроля в семестрах:
экзамен 5

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	**5 (3.1)**		Итого	
Недель	17 2/6			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	24	24	24	24
Практические	24	24	24	24
Контактная работа в период теоретического обучения	2	2	2	2
Контактная работа в период экзаменационной сессии	0,3	0,3	0,3	0,3
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	50,3	50,3	50,3	50,3
Сам. работа	62	62	62	62
Часы на контроль	31,7	31,7	31,7	31,7
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):
к.ф.-м.н., Комарцов Никита Михайлович

к.ф.-м.н., Герман Константин Анатольевич

Рецензент(ы):
к.т.н., Джаманкулов Азамат Кенешбекович

д.т.н., Муслимов Аннас Поясович

Согласовано РОП:
к.ф.-м.н., Герман Константин Анатольевич

Рабочая программа дисциплины
Сопротивление материалов (продвинутый курс)

разработана в соответствии с ФГОС 3++:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 729)

составлена на основании учебного плана:

Направление 15.03.03 - РФ, 650500 - КР Прикладная механика
Профиль "Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг"
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 (продвинутый курс)

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

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Углубление и систематизация знаний студентов в области расчёта прочности, жёсткости и устойчивости элементов конструкций с учетом сложных видов нагружения и современных подходов к механике деформируемого тела. Дисциплина направлена на освоение методов анализа напряжённо-деформированного состояния стержневых, балочных и других конструктивных элементов при сложном и комбинированном нагружении. Особое внимание уделяется применению энергетических методов, методов расчёта при переменных и динамических нагрузках, а также оценке предельных состояний и надёжности конструкций. В результате освоения дисциплины студент должен приобрести способность самостоятельно выполнять углублённый инженерный анализ механических конструкций, обосновывать расчётные модели и принимать технические решения на основе критериев прочности, жёсткости и устойчивости.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.В.1.ДВ.07
2.1	**Требования к предварительной подготовке обучающегося:**
2.1.1	Б1.О.3.02. Теоретическая механика
2.1.2	Б1.О.2.02. Математический анализ
2.1.3	Б1.О.2.03. Линейная алгебра и аналитическая геометрия
2.1.4	Б1.О.2.04. Дифференциальные уравнения
2.1.5	Б1.О.2.05. Теория вероятностей и математическая статистика
2.2	**Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**
2.2.1	Б1.В.1.05. Планирование эксперимента и методы обработки данных
2.2.2	Б1.В.1.07. Компьютерный инжиниринг
2.2.3	Б3.О.02. Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
2.2.4	Б1.В.1.ДВ.04.01. Экспериментальная механика деформируемого твердого тела
2.2.5	Б1.В.1.ДВ.07.01. Сопротивление материалов (продвинутый курс)
2.2.6	Б3.О.03. Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.7	Б2.О.01(У). Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)
2.2.8	Б1.В.1.01. Теория упругости
2.2.9	Б2.О.02(Пд). Преддипломная практика
2.2.10	Б1.О.3.04. Строительная механика машин
2.2.11	Б1.В.1.02. Основы теории пластичности и ползучести

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
ПК-1: Способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследования, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	
Знать:	
Уровень 1	Способен применять стратегию работы на основе совместного обсуждения целей и направлений деятельности для реализации проблем естественнонаучных и общеинженерных знаний
Уровень 2	
Уровень 3	
Уметь:	
Уровень 1	Способен применять стратегию работы на основе совместного обсуждения целей и направлений деятельности для реализации методов математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности
Уровень 2	
Уровень 3	
Владеть:	
Уровень 1	Способен реализовать и корректировать и применять стратегию использования естественнонаучных и общеинженерных знаний, учитывая методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.
Уровень 2	
Уровень 3	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	**Знать:**
3.1.1	современные методы расчёта элементов конструкций на прочность, жёсткость и устойчивость;
3.1.2	теорию напряжённо-деформированного состояния при сложном и комбинированном нагружении;
3.1.3	методы расчёта стержней, балок, валов и тонкостенных элементов при сложных видах деформации;
3.1.4	энергетические методы определения перемещений и деформаций;
3.1.5	основы расчёта конструкций при динамических и переменных нагрузках;
3.1.6	критерии прочности и предельных состояний материалов;
3.1.7	методы оценки устойчивости элементов конструкций и влияния несовершенств расчётной модели.
3.2	**Уметь:**
3.2.1	разрабатывать расчётные схемы и математические модели сложных механических систем;
3.2.2	определять напряжения, деформации и перемещения при сложных и комбинированных видах нагружения;
3.2.3	применять энергетические и вариационные методы для решения задач сопротивления материалов;
3.2.4	выполнять расчёты на прочность, жёсткость и устойчивость при статических, переменных и динамических нагрузках;
3.2.5	выбирать и обосновывать критерии прочности для конкретного материала и вида напряжённого состояния;
3.2.6	анализировать результаты расчётов, выявлять наиболее нагруженные элементы и обосновывать конструктивные решения.
3.3	**Владеть:**
3.3.1	современными методами расчёта напряжённо-деформированного состояния элементов конструкций;
3.3.2	методами расчёта на прочность, жёсткость и устойчивость при сложных видах нагружения;
3.3.3	энергетическими и аналитическими методами решения задач механики деформируемого тела;
3.3.4	навыками применения вычислительных средств для анализа и проверки расчётных моделей;
3.3.5	навыками инженерной оценки результатов расчёта и обоснования рациональных конструктивных решений;
3.3.6	методами сопоставления аналитических, численных и экспериментальных результатов при исследовании механических конструкций.

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. Энергетические и вариационные методы сложных систем							
1.1	Энергетический расчёт плоских рам Применение единичных состояний к рамам с несколькими стержнями. Раздельный учёт изгибной и продольной податливости элементов. Оценка вклада поперечного сдвига в перемещения коротких элементов. Взаимность перемещений как контроль вычислений. Выбор упрощений по результатам оценки энергетических вкладов. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.2	Определение перемещения узла рамы с оценкой вклада разных деформаций. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

1.3	Принцип возможных перемещений и метод Релея — Ритца Кинематически допустимые перемещения и работа внешних и внутренних сил. Потенциальная энергия системы и условие стационарности в линейной задаче. Выбор аппроксимирующей функции, удовлетворяющей существенным граничным условиям. Однопараметрическое приближение Релея — Ритца для прогиба консоли. Проверка размерности, качества приближения и поведения при усложнении базиса. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.4	Приближённый расчёт прогиба балки методом Релея — Ритца. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.5	Неопределимые системы с осадкой опоры и упругой связью Составление системы совместности для двух лишних неизвестных. Заданная осадка опоры и знаки свободных членов. Упругая опора с конечной жёсткостью и связь реакции с перемещением. Предельные переходы к свободной и жёсткой опоре. Оценка чувствительности усилий к жёсткости связи и величине осадки. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.6	Расчёт статически неопределимой балки с упругой опорой или заданной осадкой. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.7	Проверка взаимности двух перемещений в рамной системе . Сравнение одно- и двухпараметрических приближений с аналитическим решением. Построение зависимости опорной реакции от жёсткости упругой связи. /Ср/	5	15	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 2. Стеснённое кручение и предельные состояния							

2.1	Свободное и стеснённое кручение открытых профилей Депланация открытого тонкостенного сечения при кручении. Крутильная жёсткость тонкой полосы и составленного из полос профиля. Центр сдвига и появление кручения при поперечной нагрузке. Возникновение нормальных напряжений при ограничении депланации; смысл бимомента. Выбор модели для швеллера; границы расчёта только по формуле свободного кручения. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.2	Оценка угла свободного кручения открытого профиля и влияния линии приложения силы. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.3	Устойчивость стержней с начальными несовершенствами Начальная кривизна и эксцентриситет как причины изгиба сжатой стойки. Влияние продольной силы на равновесие деформированной системы. Усиление прогиба и момента при приближении нагрузки к критической. Различие бифуркационной критической нагрузки и допустимой рабочей нагрузки. Ограничения линейного собственного расчёта устойчивости и необходимость учёта несовершенств. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.4	Расчёт усиления прогиба шарнирной стойки с синусоидальной начальной кривизной. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.5	Упругопластический изгиб и предельная нагрузка Идеальная упругопластическая диаграмма как расчётная модель. Последовательность появления и развития пластических зон при изгибе. Упругий и пластический моменты сопротивления прямоугольного сечения. Пластический шарнир и отличие начала текучести от образования механизма. Применимость предельного анализа при достаточной пластичности материала. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

2.6	Определение момента начала текучести и предельного момента прямоугольного сечения. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.7	Концентрация напряжений и трещиноподобные дефекты Номинальное и локальное напряжения у отверстия и галтели. Теоретический коэффициент концентрации и влияние геометрического радиуса. Сеточная сходимость у гладкого концентратора и сингулярность у острой трещины. Коэффициент интенсивности напряжений и условие линейно-упругой трещиностойкости. Различие проверки по текучести и оценки роста трещины; ограничения малой пластической зоны. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.8	Оценка напряжения у концентратора и критической длины трещины по заданному коэффициенту формы. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.9	Сравнение открытого профиля с замкнутым по крутильной жёсткости и условиям закрепления. Анализ чувствительности прогиба к величине начального несовершенства. Сравнение упругой и предельной несущей способности балки. Сравнение допустимых нагрузок для детали без дефекта и с заданной трещиной. /Ср/	5	20	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 3. Усталость и нестационарное нагружение. Обоснование итогового инженерного решения							
3.1	Усталостная прочность при регулярном цикле Параметры цикла: максимум, минимум, амплитуда, среднее и коэффициент асимметрии. Кривая усталости и различие ограниченной долговечности и предела выносливости. Влияние среднего напряжения в линейной диаграмме Гудмана. Учёт размера, поверхности и чувствительности к надрезу при заданных коэффициентах. Расчёт запаса при многоцикловом одноосном нагружении и границы модели. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.2	Расчёт усталостного запаса детали при асимметричном цикле. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

3.3	Долговечность при блочном переменном нагружении Представление эксплуатации последовательностью блоков циклов. Определение долговечности по заданной кривой усталости. Линейное суммирование повреждений по правилу Пальмгрена — Майнера. Расчёт числа повторений блока до условного предельного повреждения. Ограничения правила: влияние последовательности, перегрузок и разброса свойств. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.4	Оценка накопленного повреждения и ресурса при двухуровневом спектре. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.5	Колебания и динамические напряжения. Приведение упругого элемента с сосредоточенной массой к одной степени свободы. Собственная частота, жёсткость и влияние массы на динамический отклик. Гармоническая сила и коэффициент динамичности при вязком демпфировании. Резонанс, фазовый сдвиг и ограничения стационарной линейной модели. Переход от амплитуды перемещения к амплитуде напряжения в элементе. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.6	Расчёт амплитуды перемещения и напряжения одномассовой упругой системы. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.7	Ударное нагружение упругих элементов Баланс энергии при падении груза на упругий стержень или балку. Статическое перемещение как параметр определения максимальной динамической силы. Внезапное приложение нагрузки и предельный коэффициент динамичности в идеальной модели. Влияние высоты падения и жёсткости на максимальные напряжения. Ограничения энергетической модели при контакте, пластичности и распространении волн. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.8	Расчёт максимального перемещения и силы при падении груза на упругий элемент. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

3.9	Совместная проверка прочности жёсткости устойчивости . Выбор определяющего предельного состояния по нескольким независимым проверкам. Сопоставление аналитического, численного и экспериментального результатов. Анализ чувствительности к нагрузке, размерам, свойствам материала и закреплениям. Запас прочности, разброс исходных данных и границы вывода о надёжности. Обоснование изменения конструкции и документирование области применимости расчёта. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.10	Комплексная проверка детали с выбором определяющего ограничения. /Пр/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.11	Сравнение запаса при одинаковой амплитуде и различных средних напряжениях. Исследование влияния доли высокоамплитудных циклов на расчётный ресурс. Построение амплитудно-частотной характеристики при двух значениях демпфирования. Сравнение статического, внезапного и ударного приложения одной нагрузки. Подготовка итогового расчётного обоснования изменения конструкции. /Ср/	5	27	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.12	консультации и прием заданий /КрТО/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.13	Консультации и прием экзамена /КрЭк/	5	0,3	ПК-1	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. Когда нельзя пренебрегать сдвиговой податливостью рамы?

Опорный ответ. Для коротких и глубоких элементов либо при малой сдвиговой жёсткости, если её вклад в перемещение сопоставим с принятой точностью.

В2. Какие условия обязательны для пробной функции Релея — Ритца?

Опорный ответ. Кинематическая допустимость, выполнение существенных граничных условий и достаточная гладкость для конечной энергии; естественные условия не обязаны выполняться точно.

В3. Как проверить модель упругой опоры?

Опорный ответ. Проверить знак реакции, связь силы и перемещения и предельные случаи нулевой и бесконечно большой жёсткости.

В4. Почему стеснение депланации создаёт дополнительные нормальные напряжения?

Опорный ответ. Ограничивается свободное продольное перемещение точек сечения при кручении, возникают продольные усилия и бимомент.

В5. Чем отличается расчёт несовершенной стойки от задачи Эйлера?

Опорный ответ. У несовершенной стойки прогиб растёт с начала нагружения; задача Эйлера определяет бифуркацию

идеальной прямой формы.
В6. Равны ли момент начала текучести и предельный момент?
Опорный ответ. Нет: после текучести крайних волокон пластическая зона распространяется в глубину; для прямоугольника M_p/M_y=1,5.
В7. Чем коэффициент концентрации отличается от коэффициента интенсивности напряжений?
Опорный ответ. Первый безразмерен и связывает локальное и номинальное напряжения гладкого концентратора; второй характеризует поле у вершины трещины и имеет размерность МПа·√м.
В8. Какие параметры определяют асимметричный цикл напряжений?
Опорный ответ. Максимум, минимум, среднее, амплитуда и их отношение R; усталостную оценку выполняют с учётом материала и условий детали.
В9. Почему правило Майнера даёт приближённую оценку ресурса?
Опорный ответ. Линейная сумма n_i/N_i не учитывает последовательность блоков, взаимодействие повреждений и изменение свойств при перегрузках.
В10. Почему при резонансе нельзя игнорировать демпфирование?
Опорный ответ. Оно ограничивает стационарную амплитуду; недемпфированная модель при точном резонансе не имеет конечного стационарного отклика.
В11. При каких условиях внезапная постоянная сила даёт удвоенное статическое перемещение?
Опорный ответ. В идеальной линейной одномассовой системе без демпфирования при нулевых начальных перемещении и скорости и отсутствии дополнительной высоты падения.
В12. Можно ли получить вероятность отказа только из запаса прочности?
Опорный ответ. Нет: нужны вероятностные модели сопротивления и нагрузок, их зависимости и предельная функция; детерминированный запас сам по себе вероятность не задаёт.
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. Однопараметрический метод Релея — Ритца
Семестр 5; лекции 2.
Консоль длиной L с постоянной EI нагружена на свободном конце силой P. Примите v(x)=a·x². Найдите a из стационарности П=½∫EI(v″)²dx−P·v(L), вычислите прогиб конца и его ошибку относительно PL³/(3EI).
Эталон. П=2EI·a²L−PaL²; ∂П/∂a=4EIaL−PL²=0; a=PL/(4EI). f=PL³/(4EI), на 25% меньше точного прогиба. Функция кинематически допустима, но недостаточно гибкая.
К2. Сжатая стойка с начальной кривизной
Семестр 5; лекции 5.
Шарнирная стойка имеет начальную форму y0=e0·sin(πx/L), e0=2 мм. Нагрузка P=0,6Pcr. В линейной теории второго порядка найдите полный и дополнительный максимальные прогибы и момент, если Pcr=100 кН.
Эталон. Полный прогиб ymax=e0/(1−P/Pcr)=5 мм; дополнительный прогиб 3 мм; P=60 кН; Mmax=P·ymax=300 Н·м. Подстановка дополнительного вместо полного прогиба в выражение момента неверна.
К3. Упругий и пластический моменты
Семестр 5; лекции 6.
Прямоугольное сечение шириной 40 мм и высотой 80 мм выполнено из идеального упругопластического материала с пределом текучести 240 МПа. Найдите момент начала текучести и полностью пластический момент при чистом изгибе.
Эталон. Wel=bh²/6=42666,7 мм³; Wpl=bh²/4=64000 мм³; My=10,24 кН·м; Mp=15,36 кН·м; Mp/My=1,5. Пластический момент сечения сам по себе ещё не определяет механизм всей конструкции.
К4. Критический размер трещины
Семестр 5; лекции 7.
Для заданной геометрии принято KI=Yσ√(πa), Y=1,12. При σ=200 МПа и KIC=50 МПа·√м найдите критический параметр a и KI при a=5 мм. Считать Y постоянным, условия линейно-упругой механики разрушения выполненными; a — размер, используемый именно в заданной формуле.
Эталон. acr=(KIC/(Yσ))²/π=0,01586 м=15,86 мм; при a=0,005 м KI=28,07 МПа·√м<KIC. Размер переводится в метры; результат не является проверкой общей текучести сечения.
К5. Усталостный запас по Гудману
Семестр 5; лекции 8.
В опасной точке номинальные напряжения цикла σmax=140 МПа и σmin=−20 МПа. Эффективный предел выносливости детали σ−1=160 МПа, временное сопротивление 500 МПа. Все поправки детали уже включены. Найдите параметры цикла и запас при пропорциональном увеличении амплитуды и среднего напряжения по диаграмме Гудмана.
Эталон. σa=80 МПа; σm=60 МПа; R=−1/7. n=1/(σa/σ−1+σm/σв)=1/(0,5+0,12)=1,613. Повторно вводить поправки на поверхность или надрез не требуется.
К6. Блочная долговечность по Майнеру
Семестр 5; лекции 9.
Один повторяемый блок содержит 20000 циклов уровня 1 и 50000 циклов уровня 2. Долговечности на этих уровнях по заданной кривой равны 100000 и 1000000 циклов. Найдите повреждение за блок и условное число одинаковых блоков до D=1.
Эталон. Dб=20000/100000+50000/1000000=0,25; B=1/Dб=4 блока, то есть 280000 циклов при повторении заданного блока. Оценка условная и не учитывает порядок уровней.
К7. Гармонический динамический отклик
Семестр 5; лекции 10.
Линейная одномассовая система имеет k=100000 Н/м, m=10 кг, относительное демпфирование ζ=0,05. Амплитуда

гармонической силы 100 Н, частота возбуждения ω=0,8ωn. Найдите ωn, коэффициент динамичности и стационарную амплитуду.
Эталон. ωn=√(k/m)=100 рад/с; ω=80 рад/с; β=1/√[(1−r²)²+(2ζr)²]=2,712; X=(F0/k)β=2,712 мм. Начальный переходный процесс в этой оценке не рассматривается.
К8. Падение груза на упругий элемент
Семестр 5; лекции 11.
Груз весом G=1000 Н падает с высоты h=10 мм до контакта с линейным упругим элементом. Статический прогиб от этого веса δst=1 мм. Массу элемента, потери и пластичность не учитывать; после контакта груз остаётся на элементе. Найдите максимальный прогиб и силу.
Эталон. k=G/δst=1000 Н/мм; kδmax²/2=G(h+δmax). β=δmax/δst=1+√(1+2h/δst)=5,583; δmax=5,583 мм; Fmax=5,583 кН. Для h=0 в этой идеализации β=2.

5.2. Темы курсовых работ (проектов)

Курсовых работ не предусмотрено

5.3. Фонд оценочных средств

Порядок использования и охват содержания
Вопросы В1–В12, практические ПР1–ПР12 и самостоятельные СР1–СР12 соответствуют лекциям с теми же номерами. Расчётный банк содержит 8 заданий; тестовый банк — 6 заданий. Численные данные являются учебными и не заменяют характеристики конкретной марки материала или нормативные допускаемые значения.
Семестр Вопросы Расчётные задания Текущие средства
5 В1–В12 К1–К8 Т1–Т6; РГР1–РГР2; ПР1–ПР12

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. Когда нельзя пренебрегать сдвиговой податливостью рамы?
Опорный ответ. Для коротких и глубоких элементов либо при малой сдвиговой жёсткости, если её вклад в перемещение сопоставим с принятой точностью.
В2. Какие условия обязательны для пробной функции Релея — Ритца?
Опорный ответ. Кинематическая допустимость, выполнение существенных граничных условий и достаточная гладкость для конечной энергии; естественные условия не обязаны выполняться точно.
В3. Как проверить модель упругой опоры?
Опорный ответ. Проверить знак реакции, связь силы и перемещения и предельные случаи нулевой и бесконечно большой жёсткости.
В4. Почему стеснение депланации создаёт дополнительные нормальные напряжения?
Опорный ответ. Ограничивается свободное продольное перемещение точек сечения при кручении, возникают продольные усилия и бимомент.
В5. Чем отличается расчёт несовершенной стойки от задачи Эйлера?
Опорный ответ. У несовершенной стойки прогиб растёт с начала нагружения; задача Эйлера определяет бифуркацию идеальной прямой формы.
В6. Равны ли момент начала текучести и предельный момент?
Опорный ответ. Нет: после текучести крайних волокон пластическая зона распространяется в глубину; для прямоугольника M_p/M_y=1,5.
В7. Чем коэффициент концентрации отличается от коэффициента интенсивности напряжений?
Опорный ответ. Первый безразмерен и связывает локальное и номинальное напряжения гладкого концентратора; второй характеризует поле у вершины трещины и имеет размерность МПа·√м.
В8. Какие параметры определяют асимметричный цикл напряжений?
Опорный ответ. Максимум, минимум, среднее, амплитуда и их отношение R; усталостную оценку выполняют с учётом материала и условий детали.
В9. Почему правило Майнера даёт приближённую оценку ресурса?
Опорный ответ. Линейная сумма n_i/N_i не учитывает последовательность блоков, взаимодействие повреждений и изменение свойств при перегрузках.
В10. Почему при резонансе нельзя игнорировать демпфирование?
Опорный ответ. Оно ограничивает стационарную амплитуду; недемпфированная модель при точном резонансе не имеет конечного стационарного отклика.
В11. При каких условиях внезапная постоянная сила даёт удвоенное статическое перемещение?
Опорный ответ. В идеальной линейной одномассовой системе без демпфирования при нулевых начальных перемещении и скорости и отсутствии дополнительной высоты падения.
В12. Можно ли получить вероятность отказа только из запаса прочности?
Опорный ответ. Нет: нужны вероятностные модели сопротивления и нагрузок, их зависимости и предельная функция; детерминированный запас сам по себе вероятность не задаёт.
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. Однопараметрический метод Релея — Ритца
Семестр 5; лекции 2.

Консоль длиной L с постоянной EI нагружена на свободном конце силой P. Примите v(x)=a·x². Найдите a из стационарности Π=½∫EI(v″)²dx−P·v(L), вычислите прогиб конца и его ошибку относительно PL³/(3EI).
Эталон. Π=2EI·a²L−PaL²; ∂Π/∂a=4EIaL−PL²=0; a=PL/(4EI). f=PL³/(4EI), на 25% меньше точного прогиба. Функция кинематически допустима, но недостаточно гибкая.
К2. Сжатая стойка с начальной кривизной
Семестр 5; лекции 5.
Шарнирная стойка имеет начальную форму y0=e0·sin(πx/L), e0=2 мм. Нагрузка P=0,6Pcr. В линейной теории второго порядка найдите полный и дополнительный максимальные прогибы и момент, если Pcr=100 кН.
Эталон. Полный прогиб ymax=e0/(1−P/Pcr)=5 мм; дополнительный прогиб 3 мм; P=60 кН; Mmax=P·ymax=300 Н·м. Подстановка дополнительного вместо полного прогиба в выражение момента неверна.
К3. Упругий и пластический моменты
Семестр 5; лекции 6.
Прямоугольное сечение шириной 40 мм и высотой 80 мм выполнено из идеального упругопластического материала с пределом текучести 240 МПа. Найдите момент начала текучести и полностью пластический момент при чистом изгибе.
Эталон. Wel=bh²/6=42666,7 мм³; Wpl=bh²/4=64000 мм³; My=10,24 кН·м; Mp=15,36 кН·м; Mp/My=1,5. Пластический момент сечения сам по себе ещё не определяет механизм всей конструкции.
К4. Критический размер трещины
Семестр 5; лекции 7.
Для заданной геометрии принято KI=Yσ√(πa), Y=1,12. При σ=200 МПа и KIC=50 МПа·√м найдите критический параметр a и KI при a=5 мм. Считать Y постоянным, условия линейно-упругой механики разрушения выполненными; a — размер, используемый именно в заданной формуле.
Эталон. acr=(KIC/(Yσ))²/π=0,01586 м=15,86 мм; при a=0,005 м KI=28,07 МПа·√м<KIC. Размер переводится в метры; результат не является проверкой общей текучести сечения.
К5. Усталостный запас по Гудману
Семестр 5; лекции 8.
В опасной точке номинальные напряжения цикла σmax=140 МПа и σmin=−20 МПа. Эффективный предел выносливости детали σ−1=160 МПа, временное сопротивление 500 МПа. Все поправки детали уже включены. Найдите параметры цикла и запас при пропорциональном увеличении амплитуды и среднего напряжения по диаграмме Гудмана.
Эталон. σa=80 МПа; σm=60 МПа; R=−1/7. n=1/(σa/σ−1+σm/σв)=1/(0,5+0,12)=1,613. Повторно вводить поправки на поверхность или надрез не требуется.
К6. Блочная долговечность по Майнеру
Семестр 5; лекции 9.
Один повторяемый блок содержит 20000 циклов уровня 1 и 50000 циклов уровня 2. Долговечности на этих уровнях по заданной кривой равны 100000 и 1000000 циклов. Найдите повреждение за блок и условное число одинаковых блоков до D=1.
Эталон. Dб=20000/100000+50000/1000000=0,25; B=1/Dб=4 блока, то есть 280000 циклов при повторении заданного блока. Оценка условная и не учитывает порядок уровней.
К7. Гармонический динамический отклик
Семестр 5; лекции 10.
Линейная одномассовая система имеет k=100000 Н/м, m=10 кг, относительное демпфирование ζ=0,05. Амплитуда гармонической силы 100 Н, частота возбуждения ω=0,8ωn. Найдите ωn, коэффициент динамичности и стационарную амплитуду.
Эталон. ωn=√(k/m)=100 рад/с; ω=80 рад/с; β=1/√[(1−r²)²+(2ζr)²]=2,712; X=(F0/k)β=2,712 мм. Начальный переходный процесс в этой оценке не рассматривается.
К8. Падение груза на упругий элемент
Семестр 5; лекции 11.
Груз весом G=1000 Н падает с высоты h=10 мм до контакта с линейным упругим элементом. Статический прогиб от этого веса δst=1 мм. Массу элемента, потери и пластичность не учитывать; после контакта груз остаётся на элементе. Найдите максимальный прогиб и силу.
Эталон. k=G/δst=1000 Н/мм; kδmax²/2=G(h+δmax). β=δmax/δst=1+√(1+2h/δst)=5,583; δmax=5,583 мм; Fmax=5,583 кН. Для h=0 в этой идеализации β=2.
Тестовые задания
В каждом задании один правильный ответ. Комплект из 6 заданий рассчитан на 10 минут.
Т1. Пробная функция Релея — Ритца обязана точно удовлетворять
А всем естественным условиям; Б существенным кинематическим условиям; В экспериментальным значениям; Г уравнению Эйлера на каждом участке.
Т2. При P=0,5Pcr полный прогиб несовершенной синусоидальной стойки равен
А e0/2; Б e0; В 2e0; Г бесконечности.
Т3. Размерность KI при напряжениях в МПа и длине в метрах
А МПа; Б МПа·м; В МПа·√м; Г безразмерная.
Т4. Суммарное повреждение Майнера для двух уровней
А n1+n2; Б N1+N2; В n1/N1+n2/N2; Г N1/n1+N2/n2.
Т5. При точном резонансе одномассовой модели с ζ>0 коэффициент динамичности
А 1/(2ζ); Б ζ; В 2ζ; Г нуль.
Т6. Детерминированный запас прочности сам по себе позволяет определить
А точную вероятность отказа; Б запас относительно принятого критерия; В закон распределения нагрузки; Г независимость случайных величин.
Ключи: Т1 — Б; Т2 — В; Т3 — В; Т4 — В; Т5 — А; Т6 — Б.

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. Энергетическая модель и предельное состояние
Семестр 5; лекции 1–7; задания К1–К4.
Решить К1–К4. Для К1 дополнить базис членом $b \cdot x^3$ и сравнить точность прогиба; для К2 построить зависимость полного прогиба от P/Pcr от 0 до 0,8.
РГР2. Ресурс и динамическое нагружение
Семестр 5; лекции 8–12; задания К5–К8.
Решить К5–К8. Для К5 оценить запас при увеличении обеих крайних величин напряжения в 1,2 раза; для К7 сопоставить отклик при ζ=0,05 и 0,10. Сформулировать границы достоверности каждой оценки.
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: базис x^2 и x^3 воспроизводит точную кубическую упругую линию консоли с концевой силой в балочной модели. РГР2: при увеличении цикла в 1,2 раза запас по Гудману уменьшается до 1,344; при ζ=0,10 и r=0,8 коэффициент динамичности составляет 2,538.
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
1 5 В1, В2 К1
2 5 В4, В5 К2
3 5 В6, В7 К4
4 5 В9, В12 К7

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.

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

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Александров А.В., Потапов В. Д.	Сопротивление материалов. Основы теории упругости и пластичности: учебник для вузов	М.: Высш. шк. 2002

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Полянин А.Д., Полянин В.Д., Попов В.А.	Справочник для студентов технических вузов: высшая математика: сопротивление материалов	М.: АСТ 2005

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Филин А.П.	Прикладная механика твердого деформируемого тела. Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строительной механике. В 3-х т. Т. 1: учебное пособие	М.: Наука 1975

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.

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.