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.

Строительная механика машин

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 **9 ЗЕТ**
Часов по учебному плану 324
в том числе:
аудиторные занятия 140
самостоятельная работа 151,9

Виды контроля в семестрах:
экзамен 7
зачет 6
курсовая работа 6

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	**6 (3.2)**		**7 (4.1)**		Итого	
Недель	16		18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП	УП	РП
Лекции	36	36	34	34	70	70
Практические	36	36	34	34	70	70
Контактная работа в период теоретического обучения	0,1	0,1			0,1	0,1
Контактная работа в период экзаменационной сессии			0,3	0,3	0,3	0,3
В том числе инт.	2	2	2	2	4	4
Итого ауд.	72	72	68	68	140	140
Контактная работа	72,1	72,1	68,3	68,3	140,4	140,4
Сам. работа	71,9	71,9	80	80	151,9	151,9
Часы на контроль			31,7	31,7	31,7	31,7
Итого	144	144	180	180	324	324

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
Строительная механика машин

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)

Строительная механика машин

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

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Целью дисциплины является формирование у студентов профессиональных знаний и навыков по расчету строительных конструкций на прочность, устойчивость и жесткость. Студенты должны научиться применять методы строительной механики для анализа усилий и перемещений в статически определимых и неопределимых системах

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.О.3
2.1	**Требования к предварительной подготовке обучающегося:**
2.1.1	Б1.О.2.01. Введение в высшую математику
2.1.2	Б1.О.2.07. Начертательная геометрия и инженерная графика
2.1.3	
2.1.4	Б1.О.2.03. Линейная алгебра и аналитическая геометрия
2.1.5	Б1.О.2.04. Дифференциальные уравнения
2.1.6	Б1.О.2.05. Теория вероятностей и математическая статистика
2.1.7	Б1.О.3.02. Теоретическая механика
2.1.8	Б1.О.3.03. Сопротивление материалов
2.1.9	Б1.О.3.05. Материаловедение
2.1.10	Б1.В.1.ДВ.06.01. Специальные главы высшей математики
2.1.11	Б1.О.3.01. Введение в профессиональную деятельность
2.1.12	Б1.В.1.ДВ.07.01. Сопротивление материалов (продвинутый курс)
2.1.13	Б1.О.2.02. Математический анализ
2.2	**Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**
2.2.1	Б2.О.02(Пд). Преддипломная практика
2.2.2	Б3.О.03. Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.3	Б3.О.02. Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
ОПК-1: Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в 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	- Изучение основных понятий и методов строительной механики.
3.1.2	- Овладение методами расчета стержневых и рамных систем.
3.1.3	- Применение принципов статической и кинематической определимости.

3.1.4	- Расчет перемещений и внутренних усилий.
3.1.5	- Использование принципа возможных перемещений и метода сил.
3.2	**Уметь:**
3.2.1	Умение выполнять расчеты конструкций сооружений методами строительной механики , применять нормативные документы
3.3	**Владеть:**
3.3.1	Иметь навыки расчетов конструкций сооружений методами строительной механики .

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. Расчётные модели и структурный анализ							
1.1	Расчётные схемы несущих систем машин Переход от станины, портала и опорной рамы к стержневой расчётной модели; границы рассматриваемой системы. Идеализация шарнирных и жёстких узлов, опор и соединений; передаваемые силы и моменты. Сосредоточенные и распределённые нагрузки, собственный вес, технологические усилия; выбор системы единиц. Предпосылки линейной упругости и малых перемещений; условия применимости принципа суперпозиции. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.2	Составление расчётной схемы портальной опоры машины. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.3	Геометрическая неизменяемость и связи Степени свободы плоского диска и узла; внешние и внутренние связи стержневой системы. Подсчёт связей как необходимая, но недостаточная проверка геометрической неизменяемости. Мгновенно изменяемые системы и неверное расположение связей; геометрический анализ простых схем. Последовательное образование неизменяемых систем; выявление механизма в раме машины. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.4	Геометрический анализ стержневых схем и выявление механизмов. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

1.5	Статическая определимость и внутренние усилия Независимые уравнения равновесия системы и её частей; внешняя и внутренняя статическая неопределимость. Определение степени статической неопределимости с учётом шарниров и типа узлов. Метод сечений и принятые знаки продольной силы N, поперечной силы Q и изгибающего момента M. Связь нагрузки, поперечной силы и момента; скачки и характерные точки эпюр. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.6	Определение статической неопределимости и выбор знаков усилий. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.7	Выбор пространственной или плоской модели Условия сведения пространственной конструкции к плоской раме или ферме. Работа поперечных связей и эксцентричных соединений; нагрузки вне плоскости модели. Идеализация упругих опор пружинами; оценка роли податливости крепления оборудования. Сравнение двух расчётных схем одной станины по жёсткости и передаче нагрузки. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.8	Сравнение плоской модели и модели с упругими опорами. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.9	Сопоставление схем опор и геометрический анализ трёх стержневых систем. Обоснование плоской модели рамы и перечень её ограничений. /Ср/	6	16		Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 2. Расчет статически определимых стержневых систем							

2.1	Многопролётные шарнирные балки Основные и подвесные части балки; поэтажная схема взаимодействия элементов. Последовательность определения реакций при силовой и распределённой нагрузке. Построение эпюр Q и M с учётом промежуточных шарниров. Проверка равновесия и нулевого момента в шарнире; пример балочной опоры оборудования. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.2	Расчёт многопролётной шарнирной балки. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.3	Статически определимые плоские рамы Определение опорных реакций рам с прямыми и наклонными стержнями. Построение эпюр N, Q и M в локальных осях каждого стержня. Равновесие жёсткого узла и согласование знаков концевых усилий. Работа Г-образного кронштейна и портальной опоры под вертикальной и боковой нагрузками. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.4	Построение эпюр N Q M статически определимой рамы. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.5	Плоские шарнирные фермы Предпосылки ферменной модели: шарниры, прямолинейные стержни и узловая передача нагрузки. Метод вырезания узлов и признаки нулевых стержней. Метод сечений для определения усилий в выбранных поясах и раскосах. Проверка знаков растяжения и сжатия; расчёт раскосной опоры машины. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.6	Расчёт усилий фермы методами узлов и сечений. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

2.7	Линии влияния и перемещение технологической нагрузки Различие эпюры усилий и линии влияния реакции или внутреннего усилия. Построение линий влияния реакций, Q и M для двухопорной балки. Определение усилий от группы сил и распределённой нагрузки по линии влияния. Выбор неблагоприятного положения тележки или перемещаемого узла на балочной направляющей. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.8	Построение линий влияния и выбор положения подвижной нагрузки. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.9	Построение и независимая проверка эпюр балки и рамы. Расчёт фермы и анализ положения подвижной нагрузки на балке. /Ср/	6	16	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 3. Энергетические методы и перемещения							
3.1	Работа и энергия деформации стержневых систем Работа внешних сил при постепенном нагружении и энергия упругой деформации. Вклады растяжения, изгиба, кручения и поперечного сдвига; размерность энергетических выражений. Условия допустимости пренебрежения отдельными составляющими энергии. Влияние распределения EA и EI на податливость несущей системы. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.2	Вычисление энергии деформации балочной системы. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.3	Принцип возможных перемещений и единичная сила Кинематически допустимые виртуальные перемещения и статически допустимые усилия. Принцип виртуальной работы и его применение к линейной стержневой системе. Выбор единичной силы или единичного момента по направлению искомого перемещения. Интеграл Мора для балки и рамы; смысл произведения грузовой и единичной эпюр. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.4	Построение единичных состояний и запись интеграла Мора. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

3.5	Вычисление перемещений балок и рам Разбиение интеграла Мора на участки с различными законами M и EI. Правило Верещагина при постоянной EI на участке и линейности одной из перемножаемых эпюр. Вычисление линейного перемещения и угла поворота выбранного сечения. Сопоставление энергетического результата с интегрированием уравнения упругой линии. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.6	Определение прогиба и угла поворота балки и рамы. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.7	Перемещения ферм и взаимность упругих систем Единичное состояние фермы и сумма произведений продольных усилий по стержням. Теоремы взаимности работ и перемещений для линейных упругих систем. Теорема Кастильяно для определения перемещения по производной энергии. Учёт заданных перемещений опор и температурных деформаций в расчёте перемещений. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.8	Определение перемещения узла фермы и проверка взаимности. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.9	Вывод энергетического выражения и выбор единичных состояний. Сравнение двух способов вычисления перемещений балки и фермы. /Ср/	6	20	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 4. Статически неопределимые системы и метод сил							
4.1	Основная система и канонические уравнения метода сил Выбор лишних неизвестных и образование геометрически неизменяемой основной системы. Условия совместности деформаций в направлениях удалённых связей. Коэффициенты податливости и грузовые члены канонических уравнений. Однократно неопределимая балка как пример восстановления удалённой опоры. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

4.2	Выбор основной системы и составление уравнений метода сил. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.3	Метод сил для балок Построение грузового и единичных состояний балки с избыточными связями. Вычисление коэффициентов при постоянной и кусочно-постоянной жёсткости. Определение лишних неизвестных и восстановление эпюр Q и M. Проверка опорных реакций и совместности перемещений; влияние EI отдельных пролётов. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.4	Расчёт статически неопределимой балки методом сил. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.5	Метод сил для рам Выбор рациональной основной системы портальной и замкнутой рамы. Составление канонических уравнений при двух лишних неизвестных. Восстановление эпюр N, Q и M; оценка допустимости пренебрежения осевой деформацией. Деформационная проверка и равновесие узлов после расчёта рамы. /Лек/	6	2		Л1.1Л2.1Л3.1			
4.6	Расчёт дважды неопределимой рамы методом сил. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.7	Симметрия в статически неопределимых системах Симметрия геометрии, жёсткостей и опор как условия использования симметрии решения. Разложение нагрузки на симметричную и кососимметричную составляющие. Выбор групповых неизвестных метода сил и обращение отдельных коэффициентов в нуль. Условия на оси симметрии; пример портальной станины при смещённой нагрузке. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.8	Использование симметрии и кососимметрии при расчёте рамы. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1	2		командная работа

4.9	Температурные воздействия и смещения опор Равномерное изменение температуры и температурный градиент по высоте сечения. Свободные температурные деформации и усилия при их ограничении. Включение осадки и поворота опоры в условия совместности метода сил. Разделение силовых и кинематических воздействий; пример нагреваемой рамы оборудования. /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.10	Расчёт усилий от температуры и перемещения опоры. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.11	Расчёт и проверка системы методом сил Выбор основной системы по числу неизвестных и удобству интегрирования. Статические и деформационные проверки полного решения балки или рамы. Оценка чувствительности реакции и прогиба к податливости опоры и изменению EI. Сравнение ручного решения с независимой стержневой моделью и объяснение расхождений /Лек/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.12	Проверка полного решения системы методом сил. /Пр/	6	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.13	Подготовка расчёта балки и рамы методом сил. Расчёт температурного воздействия и оформление проверок метода сил. /Ср/	6	19,9	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.14	Консультации и прием зачета /КрТО/	6	0,1	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 5. Метод перемещений							
5.1	Неизвестные перемещения и основная система метода перемещений Узловые повороты и независимые линейные смещения как основные неизвестные. Кинематическая неопределимость и выбор обобщённых перемещений рамы. Введение дополнительных закреплений и смысл реакций основной системы. Уравнения равновесия по направлениям неизвестных перемещений /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

5.2	Определение неизвестных и основной системы метода перемещений. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
5.3	Концевые усилия призматического стержня Связь концевых моментов с поворотами узлов и взаимным поперечным смещением концов. Жёсткости стержня при жёстком закреплении и шарнире на противоположном конце. Грузовые концевые усилия от распределённой нагрузки и сосредоточенной силы. Согласование локальных знаков и проверка реакции отдельного стержня. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
5.4	Вычисление концевых усилий призматического стержня. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
5.5	Метод перемещений для рам без смещения узлов Составление уравнений равновесия моментов в жёстких узлах. Определение коэффициентов жёсткости и свободных членов системы. Расчёт узловых поворотов и восстановление концевых усилий. Построение эпюр и проверка узлового равновесия многопролётной рамы. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
5.6	Расчёт рамы без бокового смещения методом перемещений. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
5.7	Контактные задачи в машиностроении. Задача о сжатии двух криволинейных тел (контакт Герца). Определение размеров площадки контакта и максимальных контактных напряжений. Применение к расчету зубчатых передач (контакт зубьев), подшипников качения и кулачковых механизмов. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
5.8	Расчёт портала с боковым смещением методом перемещений. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
5.9	Вывод связей концевых моментов и узловых перемещений. Сравнение расчётов рамы методами сил и перемещений. /Ср/	7	16	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 6. Матричные методы и конечноэлементные модели							

6.1	Матричный расчёт стержневых систем Векторы узловых перемещений и сил; нумерация степеней свободы. Матрица жёсткости растянутого стержня и её физические свойства. Преобразование локальных перемещений и усилий в глобальные координаты. Сборка глобальной матрицы по связности простой плоской фермы. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л2.1Л3.1			
6.2	Сборка матрицы жёсткости плоской фермы. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.3	Конечный элемент плоской рамы Степени свободы плоского рамного элемента: осевое и поперечное перемещения, поворот. Вклады EA и EI в локальную матрицу жёсткости элемента Эйлера–Бернулли. Преобразование матрицы элемента при произвольном направлении стержня. Учёт шарнирного освобождения и отличие рамного элемента от ферменного. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.4	Формирование матрицы элемента плоской рамы. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.5	Граничные условия и решение матричной системы Разделение закреплённых и свободных степеней свободы; заданные ненулевые перемещения. Приведение распределённых нагрузок к согласованному вектору узловых сил. Решение системы Ku=f и восстановление опорных реакций. Признаки механизма и плохой обусловленности; диагностика лишних и недостающих связей. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.6	Введение граничных условий и восстановление реакций. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

6.7	Вариационная основа метода конечных элементов Стационарность полной потенциальной энергии линейной упругой системы. Аппроксимация перемещений и функции формы двухузлового стержня. Кубическая интерполяция прогиба балки и требования непрерывности. Связь матричного метода перемещений и МКЭ; границы стержневой идеализации. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.8	Получение жёсткости стержня из энергии деформации. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.9	Верификация стержневой конечноэлементной модели Согласование геометрии, свойств сечений, локальных осей и единиц модели. Проверки равновесия, симметрии и деформационной совместности. Сеточное уточнение по перемещению и усилию; отличие сходимости от физической достоверности. Сравнение с аналитическим эталоном и выявление причин ложной жёсткости. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.10	Сравнение аналитического и конечноэлементного решений балки. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.11	Податливые узлы и уточнение модели несущей системы Моделирование поступательной и вращательной податливости соединений пружинами. Критерии необходимости учёта поперечного сдвига; отличие балок Тимошенко и Эйлера–Бернулли. Переход от стержней к пластинчатым и оболочечным элементам для тонкостенной станины. Сравнение моделей разной сложности по общей жёсткости без детализации локальных напряжений. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
6.12	Исследование влияния податливости узла и сдвиговой деформации. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

6.13	Составление алгоритма сборки матрицы фермы и рамы. Реализация граничных условий и проверка энергетического вывода. Исследование сходимости и аналитическая верификация модели. Сравнение вариантов податливости узлов и балочных моделей. /Ср/	7	32	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 7. Устойчивость несущих систем машин							
7.1	Устойчивость сжатых элементов несущих систем Различие проверки прочности и устойчивости; потеря устойчивости равновесной формы. Критическая сила Эйлера и влияние закреплений на расчётную длину стержня. Гибкость и ограничения упругой модели потери устойчивости. Выбор опасной плоскости изгиба стойки машины при различных связях. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
7.2	Определение критической силы сжатой стойки. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1	2		Обсуждение в группе
7.3	Устойчивость рам и геометрическая жёсткость Изменение равновесия из-за продольной силы при боковом перемещении. Геометрическая матрица жёсткости и линейная задача на критический множитель нагрузки. Различие общей потери устойчивости рамы и потери устойчивости отдельного элемента. Интерпретация формы потери устойчивости и проверка опорных условий численной модели. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
7.4	Расчёт критического множителя нагрузки простой рамы. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

7.5	Начальные несовершенства и расчёт по деформированной схеме Эксцентриситет сжатия и начальная кривизна как источники дополнительных моментов. Линейный расчёт устойчивости и геометрически нелинейный статический расчёт. Итерационное уточнение равновесия при заданном несовершенстве. Оценка чувствительности прогиба и усилий к несовершенству; пределы упрощённых выводов. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
7.6	Оценка влияния начальной кривизны на прогиб сжатого стержня. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
7.7	Сопоставление потери устойчивости стойки и рамы. /Ср/	7	8	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 8. Колебания и комплексный расчёт							
8.1	Колебания несущей системы с одной степенью свободы Приведение опорной конструкции к массе, жёсткости и вязкому демпферу. Уравнение свободных колебаний и определение собственной частоты. Гармоническое возбуждение, динамическая податливость и резонанс. Влияние демпфирования и отношения частот на перемещение опоры машины. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.2	Расчёт собственной частоты и гармонического отклика одномассовой модели. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.3	Собственные колебания стержневых систем Матрицы масс и жёсткости; сосредоточенная и согласованная масса. Обобщённая задача $K\varphi=\omega^2 M\varphi$ и физический смысл собственных форм. Закрепления, жёсткотельные моды и проверка размерности частоты. Оценка первой частоты методом Рэлея и сопоставление с модальным расчётом. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.4	Определение частот и форм двухмассовой системы. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1			

8.5	Вынужденные колебания и рабочие режимы машин Разложение перемещений по собственным формам и отбор учитываемых мод. Проекция гармонической нагрузки на моды и качественная оценка отклика. Учет демпфирования как исходного параметра и ограниченность резонансных оценок. Сопоставление частот возбуждения с собственными частотами; изменение жёсткости опор и массы. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.6	Сопоставление собственных частот с частотами возбуждения. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.7	Комплексный расчёт несущей конструкции машины Постановка статической, устойчивостной и модальной задач для одной портальной системы. Выбор расчётной схемы и параметров, влияющих на прочность и жёсткость. Сопоставление результатов ручного и численного расчётов по контрольным величинам. Инженерный выбор изменения сечения, раскосов или опор с учётом границ применимости модели. /Лек/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.8	Сравнение конструктивных вариантов несущей системы машины. /Пр/	7	2	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.9	Исследование несовершенства стойки и одномассового динамического отклика. Проверка собственных форм и анализ частот возбуждения. Обобщение расчёта. /Ср/	7	24	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			
8.10	консультации и прием экзамена /КрЭк/	7	0,3	ОПК-1	Л1.1Л2.1Л3.1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Контрольные вопросы и задания

Вопросы текущего контроля
Раздел 1 Расчётные модели и структурный анализ
Т1. Какие элементы реальной портальной станины следует включить в расчётную схему и какие воздействия передают её опоры?
Т2. Почему равенства числа связей числу степеней свободы недостаточно для доказательства неизменяемости? Приведите пример неверного расположения опор.
Т3. Чем отличаются внешняя статическая неопределимость, общая статическая неопределимость и кинематическая неопределимость?
Т4. Когда плоская стержневая модель перестаёт описывать работу несущей системы машины?
Раздел 2 Статически определимые системы
Т5. Как разделить многопролётную шарнирную балку на основные и подвесные части и выбрать порядок расчёта?
Т6. Как согласовать знаки N, Q и M в локальных осях стержней рамы и проверить жёсткий узел?
Т7. Когда в ферме возникают нулевые стержни и почему их нельзя произвольно удалять при другой нагрузке?
Т8. Как по линии влияния определить неблагоприятное положение группы сил на балке?

Раздел 3 Энергетические методы и перемещения
Т9. Из каких составляющих складывается энергия деформации стержневой системы и когда допустимо оставить только изгиб?
Т10. Почему единичная сила должна быть приложена в направлении искомого перемещения? Как задаётся состояние для угла поворота?
Т11. При каких условиях применимо правило Верещагина и что изменится при переменной EI?
Т12. Какие предпосылки нужны для теоремы взаимности перемещений и как использовать её для проверки расчёта?
Раздел 4 Статически неопределимые системы и метод сил
Т13. Какие требования предъявляются к основной системе метода сил и что означают лишние неизвестные?
Т14. Каков физический смысл коэффициента податливости и почему матрица коэффициентов симметрична?
Т15. Как изменяются уравнения метода сил при заданном смещении опоры или температурной деформации?
Т16. Какие проверки необходимы после восстановления эпюр неопределимой рамы?
Раздел 5 Метод перемещений
Т17. Как выбрать независимые повороты и линейные смещения в методе перемещений?
Т18. Как влияет шарнир на одном конце стержня на связь концевых усилий и перемещений?
Т19. Как формируется уравнение равновесия рамы по направлению бокового смещения?
Т20. Почему методы сил и перемещений при одинаковых предпосылках должны давать одинаковые реакции и перемещения?
Раздел 6 Матричные методы и конечноэлементные модели
Т21. Как собрать глобальную матрицу жёсткости из локальных матриц и матриц преобразования?
Т22. Почему матрица элемента до закрепления может быть вырожденной и когда вырожденность всей системы указывает на механизм?
Т23. Как учитывать заданное ненулевое перемещение и получать реакцию в соответствующей связи?
Т24. Чем верификация численного решения отличается от проверки пригодности физической модели?
Раздел 7 Устойчивость несущих систем машин
Т25. Какие условия закрепления определяют расчётную длину сжатой стойки и в какой плоскости следует проверять устойчивость?
Т26. Чем линейный критический множитель отличается от результата расчёта конструкции с начальным несовершенством?
Т27. Почему увеличение прочности материала не всегда существенно повышает упругую критическую силу?
Т28. Какие признаки указывают на общую потерю устойчивости рамы, а не отдельной стойки?
Раздел 8 Колебания и комплексный расчёт
Т29. Как перейти от конструкции к одномассовой модели и какие свойства такая модель не воспроизводит?
Т30. Чем отличаются круговая частота, частота в герцах и частота возбуждения?
Т31. Почему близость собственной частоты к возбуждению ещё не определяет амплитуду без сведений о нагрузке и демпфировании?
Т32. Как изменение массы и жёсткости влияет на собственные частоты и какие проверки нужны при сравнении вариантов?
Вопросы промежуточной аттестации
А1. Построение расчётной схемы машины. Кинематический анализ, геометрическая неизменяемость и статическая неопределимость.
А2. Расчёт статически определимой балки и плоской рамы. Эпюры и независимые проверки равновесия.
А3. Шарнирные фермы. Методы узлов и сечений, область применимости ферменной идеализации.
А4. Линии влияния реакций и внутренних усилий. Расчёт при перемещаемой технологической нагрузке.
А5. Энергия упругой деформации и принцип виртуальной работы для стержневой системы.
А6. Интеграл Мора и правило Верещагина. Расчёт линейного перемещения и угла поворота.
А7. Перемещения ферм, теорема Кастильяно и взаимность перемещений.
А8. Метод сил. Выбор основной системы, коэффициенты податливости и канонические уравнения.
А9. Метод сил для рам. Использование симметрии и восстановление эпюр.
А10. Температурные деформации и перемещения опор в статически неопределимых системах.
А11. Метод перемещений. Неизвестные, основная система и уравнения равновесия.
А12. Концевые усилия балочного стержня и расчёт рамы без смещения узлов.
А13. Рамы с боковым смещением. Построение уравнений и проверка решения.
А14. Матричная жёсткость ферменного и плоского рамного элементов. Локальные и глобальные координаты.
А15. Сборка матричной системы, согласованные узловые нагрузки, граничные условия и реакции.
А16. Энергетическая основа МКЭ, функции формы и проверка сходимости решения.
А17. Упругие связи, шарнирные освобождения и выбор балочной модели; пределы стержневой идеализации.
А18. Устойчивость стержня и рамы. Расчётная длина, геометрическая жёсткость и критический множитель.
А19. Начальные несовершенства и различие линейной задачи устойчивости и нелинейного равновесия.
А20. Одномассовая модель. Собственная частота, вынужденные колебания и демпфирование.
А21. Матричный модальный анализ. Матрица масс, собственные значения и формы колебаний.
А22. Комплексная оценка несущей системы по усилиям, перемещениям, устойчивости и частотам.
Для 6-го семестра используются вопросы А1–А10; для 7-го — А11–А22 с опорой на методы предыдущего семестра. В ответе ожидаются расчётная схема, предпосылки, основные уравнения, порядок получения результата и способы его проверки.
Тестовые задания
В каждом задании один правильный ответ. Тест 6-го семестра — задания 1–10; тест 7-го — 11–20. Рекомендуемое время одного теста — 20 минут. За правильный ответ 1 балл, за неверный или отсутствующий — 0.
1. Для плоской фермы с j узлами, m стержнями и r опорными связями равенство m+r=2j само по себе:
А) всегда доказывает неизменяемость; Б) является только счётной проверкой; В) доказывает отсутствие напряжений; Г)

определяет перемещения.
2. Идеальный внутренний шарнир плоской балки при отсутствии приложенной к нему пары сил передаёт:
А) изгибающий момент; Б) только момент; В) силы, но не изгибающий момент; Г) только осевую силу.
3. Стандартная ферменная модель прямого стержня с шарнирами и узловыми нагрузками учитывает:
А) продольное усилие; Б) только кручение; В) только поперечную силу; Г) все шесть компонентов усилий.
4. Размерность линии влияния изгибающего момента, умножаемой на сосредоточенную силу:
А) сила; Б) длина; В) сила на длину; Г) безразмерная величина.
5. Угол поворота в интеграле Мора определяют, задавая в единичной системе:
А) единичную массу; Б) единичное изменение температуры; В) единичный момент; Г) нулевую нагрузку.
6. При удвоении EI по всей балке и неизменной нагрузке её изгибное перемещение в линейной модели:
А) удваивается; Б) не меняется; В) уменьшается вдвое; Г) обращается в нуль.
7. Основные неизвестные метода сил:
А) лишние усилия в удалённых связях; Б) все узловые повороты; В) только напряжения; Г) собственные частоты.
8. Диагональный коэффициент податливости устойчивой линейной упругой системы для независимой обобщённой силы:
А) всегда отрицателен; Б) положителен; В) всегда нулевой; Г) равен модулю упругости.
9. Равномерный нагрев свободного однородного стержня при отсутствии иных ограничений вызывает:
А) обязательное сжатие; Б) обязательный изгиб; В) свободное удлинение без осевого усилия; Г) потерю массы.
10. Деформационная проверка метода сил непосредственно проверяет:
А) только сумму внешних сил; Б) только размерность длины; В) совместность перемещений в удалённых связях; Г) частоту колебаний.
11. Основными неизвестными метода перемещений являются:
А) перемещения и повороты выбранных узлов; Б) только опорные реакции; В) только лишние силы; Г) критические нагрузки.
12. Плоский рамный элемент обычно имеет на каждом узле:
А) одно перемещение; Б) два перемещения и один поворот; В) три перемещения и три поворота; Г) только два поворота.
13. Вырожденность матрицы жёсткости всей системы после введения опор может быть вызвана:
А) переводом метров в миллиметры при полном согласовании единиц; Б) механизмом из-за недостающей связи; В) выводом эпюры; Г) наличием плотности.
14. Для упругой консервативной модели правильно собранная матрица жёсткости:
А) симметрична; Б) обязательно диагональна; В) обязательно единична; Г) всегда антисимметрична.
15. Сгущение сетки при ошибочной расчётной схеме:
А) гарантирует физически верный результат; Б) заменяет проверку опор; В) может дать сходящееся, но физически неверное решение; Г) устраняет неверные единицы.
16. Удвоение длины шарнирно опёртого по концам стержня при неизменных E и I изменяет силу Эйлера:
А) увеличивает вдвое; Б) уменьшает вдвое; В) уменьшает в четыре раза; Г) не изменяет.
17. Критический множитель линейной задачи устойчивости относится:
А) к произвольно выбранной массе; Б) к заданному базовому вектору нагрузки; В) к пределу текучести без расчёта; Г) только к частоте.
18. Собственная круговая частота одномассовой системы без демпфирования равна:
А) sqrt(k/m); Б) k/m; В) 2πsqrt(m/k); Г) km.
19. Собственные значения в задаче $K\varphi=\lambda M\varphi$ равны:
А) частотам в Гц; Б) квадратам круговых частот; В) амплитудам; Г) статическим реакциям.
20. Резонансная амплитуда линейной системы при конечном вязком демпфировании зависит:
А) только от площади сечения; Б) только от знака перемещения; В) от амплитуды нагрузки и демпфирования, а также параметров системы; Г) только от числа узлов.

5.2. Темы курсовых работ (проектов)

предлагаются следующие темы курсовых проектов.

1. **Проектирование балочной опоры технологического оборудования.** Выбор расчётной схемы, определение реакций и внутренних усилий, подбор сечения по прочности и жёсткости.
2. **Проектирование многопролётной шарнирной балки для несущей конструкции машины.** Разработка расположения опор и шарниров, построение эпюр, определение прогибов и подбор сечений.
3. **Проектирование статически определимой рамы опоры рабочего органа машины.** Расчёт продольных и поперечных сил, изгибающих моментов и перемещений; выбор сечений элементов.
4. **Проектирование плоской ферменной опоры промышленного оборудования.** Выбор схемы решётки, определение усилий в стержнях и перемещений узлов, подбор сечений.
5. **Проектирование балочной направляющей под перемещаемую технологическую нагрузку.** Построение линий влияния, определение опасного положения нагрузки, проверка прочности и жёсткости.
6. **Проектирование статически неопределимой балки с дополнительной опорой.** Расчёт методом сил, подбор сечения, оценка влияния положения дополнительной опоры на усилия и прогибы.
7. **Проектирование портальной рамы машины с расчётом методом сил.** Выбор основной системы, определение лишних неизвестных, построение эпюр и проверка перемещений рабочего узла.
8. **Проектирование симметричной несущей рамы при несимметричном нагружении.** Разложение нагрузки на симметричную и кососимметричную составляющие, расчёт методом сил и подбор сечений.
9. **Проектирование несущей балки оборудования с учётом смещения опоры.** Определение дополнительных усилий методом сил, оценка допустимого смещения и выбор конструктивного решения опорного узла.
10. **Проектирование рамной опоры оборудования с учётом температурных деформаций.** Определение температурных усилий и перемещений, выбор закреплений и сечений, обеспечивающих допустимую жёсткость.

Каждый проект завершается **выбором конструктивного решения, расчётной проверкой и чертежом несущей конструкции**.

5.3. Фонд оценочных средств

Виды оценочных средств и содержание контроля
Раздел и лекции Проверяемое действие Средство
1; 1–4 Выбор модели, анализ связей и неизменяемости Опрос, тест, задачи на диагностику схем
2; 5–8 Реакции и усилия балки, рамы, фермы Контрольная работа 1, РГР 1
3; 9–12 Расчёт энергии и перемещений Расчётные задачи, защита РГР 1
4; 13–18 Совместность деформаций и метод сил Контрольная работа 2, РГР 2
5; 19–22 Узловые перемещения и равновесие Опрос, контрольная работа 3
6; 23–28 Сборка, решение и верификация модели Компьютерное задание, РГР 3
7; 29–31 Критическая нагрузка и ограничения модели Контрольная работа 4, РГР 4
8; 32–35 Собственные частоты и отклик Расчётные задачи, защита РГР 4

Предлагаемая периодичность: короткий опрос при переходе к новой теме; тест в конце каждого семестра; две контрольные и две РГР в каждом семестре. Компьютерное задание входит в РГР 3. Семестровые результаты учитываются отдельно и не суммируются за два семестра.
Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины
Вопросы текущего контроля
Раздел 1 Расчётные модели и структурный анализ
Т1. Какие элементы реальной портальной станины следует включить в расчётную схему и какие воздействия передают её опоры?
Т2. Почему равенства числа связей числу степеней свободы недостаточно для доказательства неизменяемости? Приведите пример неверного расположения опор.
Т3. Чем отличаются внешняя статическая неопределимость, общая статическая неопределимость и кинематическая неопределимость?
Т4. Когда плоская стержневая модель перестаёт описывать работу несущей системы машины?
Раздел 2 Статически определимые системы
Т5. Как разделить многопролётную шарнирную балку на основные и подвесные части и выбрать порядок расчёта?
Т6. Как согласовать знаки N, Q и M в локальных осях стержней рамы и проверить жёсткий узел?
Т7. Когда в ферме возникают нулевые стержни и почему их нельзя произвольно удалять при другой нагрузке?
Т8. Как по линии влияния определить неблагоприятное положение группы сил на балке?
Раздел 3 Энергетические методы и перемещения
Т9. Из каких составляющих складывается энергия деформации стержневой системы и когда допустимо оставить только изгиб?
Т10. Почему единичная сила должна быть приложена в направлении искомого перемещения? Как задаётся состояние для угла поворота?
Т11. При каких условиях применимо правило Верещагина и что изменится при переменной EI?
Т12. Какие предпосылки нужны для теоремы взаимности перемещений и как использовать её для проверки расчёта?
Раздел 4 Статически неопределимые системы и метод сил
Т13. Какие требования предъявляются к основной системе метода сил и что означают лишние неизвестные?
Т14. Каков физический смысл коэффициента податливости и почему матрица коэффициентов симметрична?
Т15. Как изменяются уравнения метода сил при заданном смещении опоры или температурной деформации?
Т16. Какие проверки необходимы после восстановления эпюр неопределимой рамы?
Раздел 5 Метод перемещений
Т17. Как выбрать независимые повороты и линейные смещения в методе перемещений?
Т18. Как влияет шарнир на одном конце стержня на связь концевых усилий и перемещений?
Т19. Как формируется уравнение равновесия рамы по направлению бокового смещения?
Т20. Почему методы сил и перемещений при одинаковых предпосылках должны давать одинаковые реакции и перемещения?
Раздел 6 Матричные методы и конечноэлементные модели
Т21. Как собрать глобальную матрицу жёсткости из локальных матриц и матриц преобразования?
Т22. Почему матрица элемента до закрепления может быть вырожденной и когда вырожденность всей системы указывает на механизм?
Т23. Как учитывать заданное ненулевое перемещение и получать реакцию в соответствующей связи?
Т24. Чем верификация численного решения отличается от проверки пригодности физической модели?
Раздел 7 Устойчивость несущих систем машин
Т25. Какие условия закрепления определяют расчётную длину сжатой стойки и в какой плоскости следует проверять устойчивость?
Т26. Чем линейный критический множитель отличается от результата расчёта конструкции с начальным несовершенством?
Т27. Почему увеличение прочности материала не всегда существенно повышает упругую критическую силу?
Т28. Какие признаки указывают на общую потерю устойчивости рамы, а не отдельной стойки?
Раздел 8 Колебания и комплексный расчёт
Т29. Как перейти от конструкции к одномассовой модели и какие свойства такая модель не воспроизводит?
Т30. Чем отличаются круговая частота, частота в герцах и частота возбуждения?
Т31. Почему близость собственной частоты к возбуждению ещё не определяет амплитуду без сведений о нагрузке и

демпфировании?
Т32. Как изменение массы и жёсткости влияет на собственные частоты и какие проверки нужны при сравнении вариантов?
Вопросы промежуточной аттестации
А1. Построение расчётной схемы машины. Кинематический анализ, геометрическая неизменяемость и статическая неопределимость.
А2. Расчёт статически определимой балки и плоской рамы. Эпюры и независимые проверки равновесия.
А3. Шарнирные фермы. Методы узлов и сечений, область применимости ферменной идеализации.
А4. Линии влияния реакций и внутренних усилий. Расчёт при перемещаемой технологической нагрузке.
А5. Энергия упругой деформации и принцип виртуальной работы для стержневой системы.
А6. Интеграл Мора и правило Верещагина. Расчёт линейного перемещения и угла поворота.
А7. Перемещения ферм, теорема Кастильяно и взаимность перемещений.
А8. Метод сил. Выбор основной системы, коэффициенты податливости и канонические уравнения.
А9. Метод сил для рам. Использование симметрии и восстановление эпюр.
А10. Температурные деформации и перемещения опор в статически неопределимых системах.
А11. Метод перемещений. Неизвестные, основная система и уравнения равновесия.
А12. Концевые усилия балочного стержня и расчёт рамы без смещения узлов.
А13. Рамы с боковым смещением. Построение уравнений и проверка решения.
А14. Матричная жёсткость ферменного и плоского рамного элементов. Локальные и глобальные координаты.
А15. Сборка матричной системы, согласованные узловые нагрузки, граничные условия и реакции.
А16. Энергетическая основа МКЭ, функции формы и проверка сходимости решения.
А17. Упругие связи, шарнирные освобождения и выбор балочной модели; пределы стержневой идеализации.
А18. Устойчивость стержня и рамы. Расчётная длина, геометрическая жёсткость и критический множитель.
А19. Начальные несовершенства и различие линейной задачи устойчивости и нелинейного равновесия.
А20. Одномассовая модель. Собственная частота, вынужденные колебания и демпфирование.
А21. Матричный модальный анализ. Матрица масс, собственные значения и формы колебаний.
А22. Комплексная оценка несущей системы по усилиям, перемещениям, устойчивости и частотам.
Для 6-го семестра используются вопросы А1–А10; для 7-го — А11–А22 с опорой на методы предыдущего семестра. В ответе ожидаются расчётная схема, предпосылки, основные уравнения, порядок получения результата и способы его проверки.
Тестовые задания
В каждом задании один правильный ответ. Тест 6-го семестра — задания 1–10; тест 7-го — 11–20. Рекомендуемое время одного теста — 20 минут. За правильный ответ 1 балл, за неверный или отсутствующий — 0.
1. Для плоской фермы с j узлами, m стержнями и r опорными связями равенство m+r=2j само по себе:
А) всегда доказывает неизменяемость; Б) является только счётной проверкой; В) доказывает отсутствие напряжений; Г) определяет перемещения.
2. Идеальный внутренний шарнир плоской балки при отсутствии приложенной к нему пары сил передаёт:
А) изгибающий момент; Б) только момент; В) силы, но не изгибающий момент; Г) только осевую силу.
3. Стандартная ферменная модель прямого стержня с шарнирами и узловыми нагрузками учитывает:
А) продольное усилие; Б) только кручение; В) только поперечную силу; Г) все шесть компонентов усилий.
4. Размерность линии влияния изгибающего момента, умножаемой на сосредоточенную силу:
А) сила; Б) длина; В) сила на длину; Г) безразмерная величина.
5. Угол поворота в интеграле Мора определяют, задавая в единичной системе:
А) единичную массу; Б) единичное изменение температуры; В) единичный момент; Г) нулевую нагрузку.
6. При удвоении EI по всей балке и неизменной нагрузке её изгибное перемещение в линейной модели:
А) удваивается; Б) не меняется; В) уменьшается вдвое; Г) обращается в нуль.
7. Основные неизвестные метода сил:
А) лишние усилия в удалённых связях; Б) все узловые повороты; В) только напряжения; Г) собственные частоты.
8. Диагональный коэффициент податливости устойчивой линейной упругой системы для независимой обобщённой силы:
А) всегда отрицателен; Б) положителен; В) всегда нулевой; Г) равен модулю упругости.
9. Равномерный нагрев свободного однородного стержня при отсутствии иных ограничений вызывает:
А) обязательное сжатие; Б) обязательный изгиб; В) свободное удлинение без осевого усилия; Г) потерю массы.
10. Деформационная проверка метода сил непосредственно проверяет:
А) только сумму внешних сил; Б) только размерность длины; В) совместность перемещений в удалённых связях; Г) частоту колебаний.
11. Основными неизвестными метода перемещений являются:
А) перемещения и повороты выбранных узлов; Б) только опорные реакции; В) только лишние силы; Г) критические нагрузки.
12. Плоский рамный элемент обычно имеет на каждом узле:
А) одно перемещение; Б) два перемещения и один поворот; В) три перемещения и три поворота; Г) только два поворота.
13. Вырожденность матрицы жёсткости всей системы после введения опор может быть вызвана:
А) переводом метров в миллиметры при полном согласовании единиц; Б) механизмом из-за недостающей связи; В) выводом эпюры; Г) наличием плотности.
14. Для упругой консервативной модели правильно собранная матрица жёсткости:
А) симметрична; Б) обязательно диагональна; В) обязательно единична; Г) всегда антисимметрична.
15. Сгущение сетки при ошибочной расчётной схеме:
А) гарантирует физически верный результат; Б) заменяет проверку опор; В) может дать сходящееся, но физически неверное решение; Г) устраняет неверные единицы.
16. Удвоение длины шарнирно опёртого по концам стержня при неизменных E и I изменяет силу Эйлера:

А) увеличивает вдвое; Б) уменьшает вдвое; В) уменьшает в четыре раза; Г) не изменяет.
17. Критический множитель линейной задачи устойчивости относится:
А) к произвольно выбранной массе; Б) к заданному базовому вектору нагрузки; В) к пределу текучести без расчёта; Г) только к частоте.
18. Собственная круговая частота одномассовой системы без демпфирования равна:
А) sqrt(k/m); Б) k/m; В) 2πsqrt(m/k); Г) km.
19. Собственные значения в задаче Kφ=λMφ равны:
А) частотам в Гц; Б) квадратам круговых частот; В) амплитудам; Г) статическим реакциям.
20. Резонансная амплитуда линейной системы при конечном вязком демпфировании зависит:
А) только от площади сечения; Б) только от знака перемещения; В) от амплитуды нагрузки и демпфирования, а также параметров системы; Г) только от числа узлов.
Ключи тестов
1 — Б; 2 — В; 3 — А; 4 — Б; 5 — В; 6 — В; 7 — А; 8 — Б; 9 — В; 10 — В; 11 — А; 12 — Б; 13 — Б; 14 — А; 15 — В; 16 — В; 17 — Б; 18 — А; 19 — Б; 20 — В.
Ключевые основания: счёт связей не заменяет геометрический анализ; единичное состояние соответствует искомой обобщённой координате; метод сил обеспечивает совместность, метод перемещений — равновесие. В устойчивости Nкр пропорциональна $1/L^2$, а в модальном анализе $\lambda=\omega^2$.
Расчётные задания с ответами и критериями
Задачи 31–36 относятся к семестру 6, 37–312 — к семестру 7. Все модели линейные упругие, если не оговорено иное. В балках Эйлера–Бернулли учитывается только изгиб; вес не учитывается, кроме заданной нагрузки. Положительные направления обучающийся задаёт на схеме. Числовые ответы ниже приводятся по модулю либо с явно оговорённым знаком.
31 Консольная балка
Горизонтальная консоль длиной L=2 м защемлена слева. На свободном конце действует вертикальная сила P=5 кН вниз. E=200 ГПа, $I=8\cdot10^{-6}$ м⁴. Определите реакции, эпюры Q и M, прогиб свободного конца.
Эталон. Вертикальная реакция 5 кН вверх; опорная пара 10 кН·м против часовой стрелки. |Q|=5 кН; при положительном растягивающем нижние волокна моменте M(x)=−P(L−x). Прогиб $PL^3/(3EI)=8{,}333$ мм вниз.
32 Треугольная ферма
Узлы A(0;0), B(4;0), C(2;1,5), координаты в метрах. Стержни AB, AC, BC. В A неподвижный шарнир, в B шарнирно-подвижная опора с вертикальной реакцией. В C действует 20 кН вниз. Найдите реакции и продольные усилия.
Эталон. Ax=0; Ay=By=10 кН. AC=BC=2,5 м. N_AC=N_BC=−16,667 кН, сжатие; N_AB=13,333 кН, растяжение. Проверка — равновесие узлов C и A.
33 Балка с защемлением и подпоркой
Балка L=4 м защемлена слева в A, справа в B имеет вертикальную шарнирно-подвижную опору. По всей длине q=10 кН/м вниз. E=200 ГПа, $I=8\cdot10^{-5}$ м⁴. Методом сил найдите реакции и концевой момент.
Эталон. Основная система — консоль. Условие v_B=0 даёт R_B=3qL/8=15 кН вверх. R_A=5qL/8=25 кН вверх. Опорная пара в A равна $qL^2/8=20$ кН·м против часовой стрелки; внутренний M(0)=−20 кН·м. M(x)=−20+25x−5x² в кН·м.
34 Нагрев закреплённого стержня
Прямой стержень длиной 2 м и площадью A=600 мм² неподвижно закреплён по оси с обоих концов. E=200 ГПа, $\alpha=12\cdot10^{-6}$ 1/К, равномерный нагрев ΔT=40 К. Боковая потеря устойчивости исключена направляющими. Найдите N и σ.
Эталон. Полная осевая деформация равна нулю: N/(EA)+αΔT=0. σ=−EαΔT=−96 МПа; N=−57,6 кН. Сжатие компенсирует свободное температурное удлинение 0,96 мм.
35 Прогиб двухопорной балки
Балка L=3 м на шарнирно-неподвижной левой и вертикальной подвижной правой опорах нагружена силой P=12 кН вниз в середине. E=200 ГПа, $I=1{,}5\cdot10^{-5}$ м⁴. Определите реакции, Mmax и прогиб середины через единичное состояние.
Эталон. R_A=R_B=6 кН; Mmax=PL/4=9 кН·м. Прогиб $PL^3/(48EI)=2{,}25$ мм вниз. Единичная вертикальная сила прикладывается в середине балки.
36 Линия влияния момента
Двухопорная балка длиной 6 м. Нужен момент в сечении x=2 м от левой опоры. Сила P=10 кН направлена вниз и находится на расстоянии z=4 м от левой опоры. Постройте линию влияния момента, найдите момент и максимальный момент в этом сечении при движении одной силы.
Эталон. Ордината линии: η=z(6−2)/6 при z≤2 и η=2(6−z)/6 при z≥2, в метрах. При z=4: M=6,667 кН·м. Максимум при z=2: ηmax=4/3 м, Mmax=13,333 кН·м.
37 Двухузловая система жёсткостей
Два узла перемещаются по одной горизонтальной оси. Узел 1 связан с основанием пружиной 100 кН/м, узлы 1 и 2 соединены пружиной 100 кН/м. Вектор нагрузок f=(10;0) кН. Составьте K, найдите u, силы в пружинах и энергию.
Эталон. K=[[200,−100],[−100,100]] кН/м. u=(0,1;0,1) м. В пружине основания 10 кН, в межузловой пружине 0. Энергия $0{,}5f^{\mathrm{T}}u=0{,}5$ кН·м. Реакция основания направлена против нагрузки и равна 10 кН.
38 Критическая сила стойки
Прямой стержень L=2 м, E=200 ГПа, минимальный $I=4\cdot10^{-8}$ м⁴; упругая модель Эйлера применима. Сравните критические силы при шарнирах на обоих концах и при защемлении одного и свободном другом конце.
Эталон. При шарнирах расчётная длина L: $N_{кр}=\pi^2EI/L^2=19{,}739$ кН. Для консоли расчётная длина 2L: Nкр=4,935 кН. Различие в четыре раза; сравнивать следует для одной и той же плоскости изгиба.
39 Одномассовый гармонический отклик
m=100 кг, k=40 000 Н/м, доля критического демпфирования ζ=0,05. Сила F(t)=200sin(10t) Н. Найдите ωn, fn, коэффициент вязкого сопротивления c и установившуюся амплитуду смещения.
Эталон. ωn=sqrt(k/m)=20 рад/с; fn=3,183 Гц; c=2ζsqrt(km)=200 Н·с/м. X=F0/sqrt((k−mΩ²)²+(cΩ)²)=6,652 мм при Ω=10 рад/с. Статическое смещение F0/k=5 мм.

310 Собственные колебания двух масс

Две массы m1=m2=100 кг перемещаются горизонтально. Первая связана с основанием пружиной k=10 000 Н/м, вторая соединена с первой такой же пружиной; иной связи второй с основанием нет. Демпфирования нет. Найдите K, M, частоты и отношения компонент форм.

Эталон. K=k[[2,−1],[−1,1]], M=100I. ω²=(k/m)(3±sqrt(5))/2. ω1=6,180 рад/с, ω2=16,180 рад/с; f1=0,984 Гц, f2=2,575 Гц. При φ1=1 отношения φ2/φ1 равны 1,618 и −0,618. Амплитуды форм произвольны.

311 Согласованные нагрузки балочного элемента

Один балочный элемент длиной L=2 м нагружен постоянной нагрузкой q=3 кН/м вниз. Локальная ось x направлена слева направо, перемещение v положительно вверх, угол θ положителен против часовой стрелки. Для порядка (v1,θ1,v2,θ2) определите согласованный вектор нагрузок и проверьте равновесие.

Эталон. f=(−qL/2;−qL²/12;−qL/2;+qL²/12)=(−3 кН;−1 кН·м;−3 кН;+1 кН·м). Сумма сил −6 кН. Сумма моментов относительно левого конца −6 кН·м, как у исходной нагрузки. Это вектор приложенных эквивалентных нагрузок, не вектор опорных реакций.

312 Проверка сходимости прогиба

Для двухопорной балки из 35 расчёт с 2, 4 и 8 элементами дал прогибы середины 2,20; 2,24; 2,249 мм. Найдите относительное отличие последнего результата от аналитического значения и относительное изменение между двумя последними сетками. Достаточно ли этих данных для признания всей модели правильной?

Эталон. Аналитический прогиб 2,25 мм. Отличие от эталона |2,249−2,25|/2,25=0,0444%. Изменение |2,249−2,24|/2,249=0,4002%. Данные подтверждают сходимость выбранного прогиба; отдельно проверяются схема, опоры, единицы, равновесие и другие значимые результаты.

Оценивание каждой расчётной задачи — до 10 баллов: схема, знаки и предпосылки — 2; уравнения и метод — 3; численное решение с единицами — 3; независимая проверка и объяснение результата — 2. Альтернативный корректный метод оценивается наравне с указанным, кроме заданий, прямо требующих конкретного метода.

Для округлённых числовых ответов 31–311 допускается расхождение до 1% при правильной методике и согласованных единицах. Для процентов в 312 допускается расхождение до 0,01 процентного пункта. Ошибка знака оценивается с учётом явно принятой системы знаков, а не только совпадения с эталоном.

Контрольные работы

Контрольная работа 1. Семестр 6, после лекции 12. Задания: 32 и 35. Ферменная модель, усилия и энергетическое определение перемещения. Время — 60 минут, до 20 первичных баллов. При переносе в семестровую шкалу результат делится на 2.

Контрольная работа 2. Семестр 6, после лекции 18. Задания: 33 и 34. Метод сил и ограниченные температурные деформации. Время — 60 минут, до 20 первичных баллов. При переносе в семестровую шкалу результат делится на 2.

Контрольная работа 3. Семестр 7, после лекции 27. Задания: 37 и 311. Матричное равновесие и согласованные нагрузки. Время — 60 минут, до 20 первичных баллов. При переносе в семестровую шкалу результат делится на 2.

Контрольная работа 4. Семестр 7, после лекции 34. Задания: 38 и 39. Устойчивость и гармонический динамический отклик. Время — 60 минут, до 20 первичных баллов. При переносе в семестровую шкалу результат делится на 2.

Варианты контрольных формируются умножением всех приложенных сил и распределённых нагрузок на a=1+0,1(v−1), где v=1…6. Для 34 вместо нагрузки на a умножается ΔT. В 38 на a умножается I; в 39 — F0. Геометрия, E и массы не меняются. Эталон пересчитывается: в 32–35, 37, 39, 311 силы и линейные перемещения масштабируются по воздействию; в 38 Nкр масштабируется по I. Энергия в 37 масштабируется по a². Это правило позволяет получить однозначные варианты без изменения типа задачи.

Расчётно графические работы

Предлагаются четыре РГР, по две в каждом семестре. Номер варианта v=1…6 задаёт a=1+0,1(v−1). Размеры даны по осевым линиям. Число вариантов может быть расширено преподавателем после проверки исходных данных. Каждая работа оценивается до 100 первичных баллов и затем переводится в семестровый вес.

РГР 1 Расчёт усилий и перемещений ферменной опоры

Семестр 6. Геометрия и опоры — как в 32. E=200 ГПа, A_AB=800 мм², A_AC=A_BC=600 мм². Вертикальная нагрузка в C равна 20a кН вниз. Определить реакции и усилия, построить единичное состояние и вычислить вертикальное перемещение C; сравнить с расчётом ферменной модели.

Контрольные ориентиры для преподавателя. При a=1: реакции и усилия совпадают с 32. По сумме N·n·L/(EA) перемещение C=0,80093 мм вниз; при варианте v значение умножается на a. Вклад пояса AB около 0,22222 мм, двух раскосов суммарно 0,57870 мм. Обязательны равновесие узлов и совпадение энергетического и матричного результатов.

РГР 2 Расчёт балки методом сил и влияние податливости опоры

Семестр 6. Геометрия, E и I — как в 33; q=10a кН/м. Сначала рассчитать жёсткую подпорку в B. Затем заменить её вертикальной пружиной k=20 МН/м без начального натяжения. Определить реакции, эпюры и перемещение B; сравнить варианты.

Контрольные ориентиры для преподавателя. При жёсткой подпорке R_B=15a кН. При пружине условие v_B=R_B/k и v_B=qL⁴/(8EI)−R_BL³/(3EI), поэтому R_B=[qL⁴/(8EI)]/[L³/(3EI)+1/k]. При a=1 получаются R_B=14,458 кН, v_B=0,723 мм вниз, R_A=25,542 кН; опорная пара A=22,169 кН·м против часовой стрелки. При a≠1 результаты масштабируются по a.

РГР 3 Матричный расчёт и верификация портальной рамы

Семестр 7. Узлы A(0;0), B(0;3), C(4;3), D(4;0), в метрах. Элементы AB, BC, CD; A и D защемлены, B и C — жёсткие узлы. Для всех элементов E=200 ГПа, A=0,004 м², I=8·10⁻⁵ м⁴. На BC действует q=5a кН/м вниз; в B — H=10a кН вправо. Составить матричную модель плоской рамы с учётом осевых деформаций, определить перемещения B и C, реакции и эпюры. Повторить с 2, 4 и 8 элементами на каждом физическом стержне.

Контрольные ориентиры для преподавателя. Необходимы шесть свободных узловых степеней свободы в исходной трёхэлементной модели и согласованная нагрузка ригеля. Глобальные проверки: сумма горизонтальных реакций =−10a кН; вертикальных =20a кН. Относительно A: M_A+M_D+4R_Dy−30a−40a=0 в кН·м, где пары против часовой стрелки положительны. Независимый частный эталон: при q=0 и подавленных вертикальных перемещениях B,C, равных

горизонтальных смещениях и одинаковых поворотах Kбок=24EI/h³−(12EI/h²)²/(8EI/h+12EI/l); h=3, l=4. Для исходной модели дополнительно проверяются симметрия K, невязка и воспроизводимость результата независимым решателем.
РГР 4 Устойчивость и частотная оценка несущей стойки
Семестр 7. Идеальная стойка L=2 м шарнирно закреплена по концам в исследуемой плоскости; E=200 ГПа, I=4·10⁻⁸a м⁴. Найти силу Эйлера. Затем для отдельной учебной динамической модели принять m=100 кг, k=40 000a Н/м, ζ=0,05 и гармоническую силу 200sin(Ωt) Н. Найти частоту, сравнить амплитуды при Ω=0,5ωn, ωn и 1,5ωn. Эти две модели не считаются одной и той же системой.
Контрольные ориентиры для преподавателя. Nкр=19,739a кН; ωn=20sqrt(a) рад/с. Амплитуда X=(200/k)/sqrt((1−r²)²+(2ζr)²). При a=1: X(0,5)=6,652 мм, X(1)=50 мм, X(1,5)=3,972 мм. При фиксированном r амплитуды делятся на a. Следует объяснить ограничения малых перемещений при больших амплитудах и отличие идеальной критической силы от расчёта с несовершенствами.
Состав каждой РГР: исходная схема и данные; принятые предпосылки; основные уравнения; результаты с единицами; независимые проверки; сравнение вариантов или методов; вывод. При наличии программного расчёта передаётся также воспроизводимый файл модели или скрипт.
Критерий РГР Баллы Признак полного выполнения
Схема и предпосылки 15 Опоры, связи, нагрузки, единицы и ограничения определены
Метод и уравнения 25 Неизвестные и уравнения физически и математически корректны
Результаты 25 Получены требуемые усилия, перемещения или частоты
Верификация 20 Выполнены независимые проверки и объяснены расхождения
Оформление и защита 15 Расчёт воспроизводится, выводы обоснованы, ответы самостоятельны

Компьютерное расчётное задание
Выполняется в составе РГР 3. До портальной рамы реализовать балку З5 и сравнить прогиб середины с 2,25 мм; затем сформировать модель рамы. Предъявить таблицу результатов трёх сеток, невязку равновесия, перечень закреплений и локальных осей, исходные файлы. При отличии от аналитического эталона свыше 1% установить причину. Для глобального баланса использовать полные реакции, включая опорные моменты.
Контрольные вопросы защиты: почему выбран рамный элемент; какие степени свободы закреплены; как введена распределённая нагрузка; что изменится при замене жёсткого узла шарниром; какие величины изменяются при сгущении сетки; почему сеточная сходимость не исправляет неверное закрепление. Баллы входят в критерии РГР 3 и отдельно не начисляются.
Примерные билеты промежуточной аттестации
Билет содержит два вопроса и одну задачу. Вопросы обозначены А, расчётные задачи — З. Перед применением студентам выдаётся условие задачи без эталона. Задачи могут повторяться в разных билетах с вариантами параметров по приведённому правилу.
Билет Семестр 6 Семестр 7
1 А1, А5, З1 А11, А18, З8
2 А2, А6, З2 А12, А20, З9
3 А3, А7, З5 А13, А21, З10
4 А4, А8, З6 А14, А22, З7
5 А5, А9, З3 А15, А18, З11
6 А6, А10, З4 А16, А19, З12
7 А1, А8, З5 А17, А20, З9
8 А2, А9, З3 А11, А21, З10
9 А3, А10, З4 А14, А19, З8
10 А4, А7, З6 А15, А22, З7

Предлагаемая процедура: до 60 минут на подготовку письменного решения и краткого плана ответа; до 15 минут на обсуждение. Разрешены непрограммируемый калькулятор и единый лист основных формул, выданный преподавателем.

5.4. Перечень видов оценочных средств

Устный опрос по расчётным схемам, методам и ограничениям моделей.
Короткие тесты на понятия, физический смысл и размерности.
Контрольные расчётные работы по определимым и неопределимым системам.
Расчётно-графические работы с защитой принятой схемы и результатов.
Семестровые аттестационные задания: теоретические вопросы и расчётная задача.

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., Шапошников Н.Н.	Строительная механика: учебник	СПб.: Лань 2005

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Киселев В.А.	Строительная механика. Специальный курс (динамика и устойчивость сооружений): учебник	М.: Издательство литературы по строительству 1964

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Русаков А.И.	Строительная механика: учебное пособие	М.: Проспект 2009

6.3. Перечень информационных и образовательных технологий

6.3.1 Компетентностно-ориентированные образовательные технологии

6.3.1.1	Python 3 с NumPy, SciPy и Matplotlib — сборка матриц, решение систем, собственные значения, визуализация эпюр и зависимостей.
6.3.1.2	JupyterLab — ведение воспроизводимых расчётных записей с формулами, кодом и результатами.
6.3.1.3	OpenSees с Python-интерфейсом OpenSeesPy — расчёт стержневых моделей, упругих рам и собственных колебаний.
6.3.1.4	Ansys Mechanical — альтернативный конечноэлементный комплекс при наличии разрешённого университетского доступа.

6.3.2 Перечень информационных справочных систем и программного обеспечения

6.3.2.1	Math-Net.Ru — научный информационный портал для поиска публикаций по математическим методам, устойчивости и механике; https://www.mathnet.ru/.
6.3.2.2	Springer Nature Link, раздел Engineering Mechanics — поиск исследований по строительной и вычислительной механике; доступ к отдельным полным текстам зависит от условий издателя; https://link.springer.com/subjects/engineering-mechanics.
6.3.2.3	Официальная справочная система OpenSees Documentation — параметры элементов, команд анализа и интерпретация результатов; https://opensees.github.io/OpenSeesDocumentation/.
6.3.2.4	Официальная справочная система SciPy — линейная алгебра, собственные значения и численные методы; https://docs.scipy.org/doc/scipy/.
6.3.2.5	Ansys Help — описание расчётных постановок и настроек элементов при использовании Ansys Mechanical; https://ansyshelp.ansys.com/.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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

Подготовка к изучению темы

Перед лекцией повторите необходимые положения теоретической механики и сопротивления материалов: равновесие, связи, внутренние усилия, геометрические характеристики сечений, линейную упругость. Для матричного расчёта повторите операции с матрицами и решение линейных систем; для динамики — обыкновенные дифференциальные уравнения и собственные значения.

Работа с лекционным материалом

В конспекте отделяйте расчётные предпосылки от формул и следствий. Для каждого метода фиксируйте неизвестные, уравнения, граничные условия и порядок проверки. Сопровождайте выводы схемой с локальными осями и знаками усилий. Проверяйте, что формула применима к выбранным закреплениям и характеру нагрузки.

Порядок выполнения расчёта

Начинайте с эскиза реальной конструкции и расчётной схемы. Укажите геометрию, опоры, шарниры, нагрузки и жёсткости. Проверьте неизменяемость; определите степень неопределимости. Обоснуйте метод, запишите уравнения в символическом виде, затем подставляйте числа в согласованных единицах. Завершите расчёт эпюрами, реакциями, перемещениями и содержательным выводом.

Самопроверка аналитического решения

Проверяйте равновесие всей системы и отдельных узлов. На эпюрах контролируйте скачки в местах приложения сил и моментов, нулевой момент в идеальном шарнире и связь производных. Для метода сил подставляйте найденные неизвестные в условия совместности; для метода перемещений проверяйте узловое равновесие. Сравнивайте знак и порядок перемещения с ожидаемой деформированной формой.

Выполнение компьютерного задания

Сохраняйте исходную модель, единицы, свойства материалов и сечений, типы элементов, освобождения и граничные условия. До сложной модели решите аналитически проверяемый пример. Сопоставьте реакции и контрольное перемещение, выполните не менее трёх последовательных сгущений сетки при необходимости. Уточняйте сетку в местах изменения нагрузки и геометрии. Отсутствие изменения результата при сгущении не подтверждает правильность исходной физической схемы.

Оформление и защита работы

Представляйте схему, исходные данные, принятые предпосылки, ключевые уравнения, результаты с единицами, проверки и инженерный вывод. Для численного расчёта приложите файл модели или скрипт и таблицу сопоставления с эталоном. Скриншоты должны сопровождаться пояснением. Будьте готовы воспроизвести один этап расчёта и объяснить влияние изменения нагрузки, опоры или жёсткости.

Организация самостоятельной работы

Выполняйте задания по мере изучения соответствующих лекций, распределяя время между выводом формул, решением и проверкой. При затруднении сначала проверьте схему, единицы, оси и граничные условия. Вопрос преподавателю формулируйте с указанием конкретного этапа и уже выполненных проверок. Используйте обратную связь для исправления ошибок до защиты работы.
Подготовка к промежуточной аттестации
Повторяйте материал по разделам и банку вопросов ФОС. Для каждого метода подготовьте краткую последовательность решения и небольшой пример. Решайте задачи без опоры на готовый программный результат. Отдельно тренируйте объяснение причин расхождений ручного и численного расчётов. Условия использования справочных материалов устанавливаются преподавателем заранее.