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)

2 сентября____2026 г.

Теория колебаний

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 **7 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 252

в том числе:

аудиторные занятия 104

самостоятельная работа 114

Виды контроля в семестрах:

экзамен 5
курсовая работа 5
зачет 4

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	**4 (2.2)**		**5 (3.1)**		Итого	
Недель	18		17 2/6			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП	УП	РП
Лекции	18	18	16	16	34	34
Лабораторные	18	18			18	18
Практические	18	18	34	34	52	52
Контактная работа в период теоретического обучения			2	2	2	2
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.	54	54	50	50	104	104
Контактная работа	54	54	52,3	52,3	106,3	106,3
Сам. работа	54	54	60	60	114	114
Часы на контроль			31,7	31,7	31,7	31,7
Итого	108	108	144	144	252	252

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

к.т.н, Джаманкулов Азамат Кенешбекович

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

д.т.н, Муслимов Аннас Поясович

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

Рабочая программа дисциплины
Теория колебаний

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: 2023-2032 уч.г.
Руководитель подразделения: Алсеитов Мирлан Тилегенович

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ
к рабочей программе дисциплины (модуля)

Теория колебаний

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

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Обучение методам построения математических моделей и расчетных схем динамических систем различной природы и сложности; изучение методов качественного и количественного анализа динамических систем; приобретение навыков решения задач теории колебаний; получение первоначального опыта творческого подхода к выбору адекватных расчетных схем и к изучению динамики разнообразных объектов современной техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.В.1.ДВ.05
2.1	**Требования к предварительной подготовке обучающегося:**
2.1.1	Б1.О.3.12. Аналитическая механика
2.1.2	Б1.В.1.ДВ.01.01. Использование современного программного комплекса Компас
2.1.3	Б1.О.3.08. Использование современного программного комплекса mat lab
2.1.4	Б1.О.2.07. Начертательная геометрия и инженерная графика
2.1.5	
2.1.6	Б1.О.2.03. Линейная алгебра и аналитическая геометрия
2.1.7	ФТД.01. Основы трехмерного моделирования и прототипирования
2.1.8	Б1.О.2.06. Физика
2.1.9	Б1.О.3.02. Теоретическая механика
2.1.10	Б1.О.3.03. Сопротивление материалов
2.1.11	Б1.О.3.01. Введение в профессиональную деятельность
2.1.12	Б1.О.2.02. Математический анализ
2.2	**Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**
2.2.1	Б1.В.1.07. Компьютерный инжиниринг
2.2.2	Б1.О.3.09. Экономика и организация производства
2.2.3	Б3.О.03. Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.4	Б1.В.1.03. Основы автоматизированного проектирования
2.2.5	Б1.О.3.06. Метрология, стандартизация и сертификация
2.2.6	Б2.О.02(Пд). Преддипломная практика
2.2.7	Б1.О.3.07. Технология машиностроения
2.2.8	Б3.О.02. Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
2.2.9	Б1.В.1.04. Патентоведение

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	Физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;
Уровень 2	
Уровень 3	
Уметь:	
Уровень 1	Применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;
Уровень 2	
Уровень 3	
Владеть:	
Уровень 1	физико-математический аппаратом для проведения исследований; навыками использования математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности
Уровень 2	
Уровень 3	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	**Знать:**
3.1.1	основные принципы и методы теории механизмов и машин, а также основы их конструирования; использовать основные законы естественнонаучных дисциплин.
3.2	**Уметь:**
3.2.1	собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии.
3.3	**Владеть:**
3.3.1	навыками для проведения инженерных расчетов; навыками оформлять проектную и конструкторскую документацию в соответствии с требованиями ЕСКД с использованием современных программных комплексов «Mat Cad», «КОМПАС-ГРАФИК».

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. Модели колебательных систем							
1.1	Расчетная схема и малые свободные колебания Колебательная система, степень свободы, обобщенная координата; выбор модели массы на упругой опоре. Устойчивое статическое равновесие и отсчет перемещений от него; исключение статической составляющей нагрузки. Получение уравнения m ẍ + kx = 0 по второму закону Ньютона и энергетическим соотношениям. Собственная круговая частота, частота в герцах, период, амплитуда и начальная фаза; связь с начальными условиями. Пределы применимости линейной модели и проверка размерностей на примере узла станка. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.2	Расчет эквивалентных масс и жесткостей /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			

1.3	Приведение параметров и уравнения Лагранжа Эквивалентная жесткость последовательно и параллельно соединенных упругих элементов. Приведение масс и моментов инерции к выбранной координате через кинетическую энергию. Кинетическая и потенциальная энергия системы с одной степенью свободы; уравнение Лагранжа второго рода. Линеаризация восстанавливающей силы в окрестности равновесия и связь устойчивости с жесткостью. Крутильные колебания диска на валу и сопоставление поступательной и вращательной моделей. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.4	Уравнение малых крутильных колебаний /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.5	Линейные системы с одной степенью свободы Свободные затухающие колебания Вязкое сопротивление и уравнение свободного движения $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$. Корни характеристического уравнения; колебательный, критический и апериодический режимы. Относительное демпфирование, критическое сопротивление и частота затухающих колебаний. Огибающая затухания, логарифмический декремент и оценка параметров по измеренным пикам. Диссипация энергии; отличие вязкого сопротивления от сухого трения и границы выбранной модели. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.6	Определение параметров свободного затухания /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			

1.7	Линейные системы с одной степенью свободы. Вынужденные гармонические колебания Силовое возбуждение и разделение отклика на переходную и установившуюся составляющие. Комплексная форма решения, амплитудная и фазовая частотные характеристики. Коэффициент динамичности и влияние демпфирования на резонансную область. Условие максимума амплитуды перемещения и отличие резонансной частоты от собственной. Расчет виброперемещения упругой опоры при периодической силе с проверкой низко- и высокочастотного пределов. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.8	Расчет амплитуды и фазы вынужденных колебаний /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.9	Кинематическое возбуждение и виброизоляция Абсолютная и относительная координаты при заданном перемещении основания. Уравнение движения при кинематическом возбуждении и различие между передачей перемещения и относительным ходом. Коэффициент передачи силы при силовом возбуждении и перемещения при колебании основания. Условие начала виброизоляции по частотному отношению и роль демпфирования в разных частотных областях. Подбор жесткости опоры по рабочей частоте и ограничения по статической осадке и ходу. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.10	Выбор параметров виброизолирующей опоры /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1	2		Работа в команде

1.11	Негармоническое и кратковременное возбуждение Отклик на ступенчатую силу, переход к новому равновесию и динамический максимум. Импульс силы и скачок скорости; свободное движение после короткого воздействия. Импульсная характеристика и интеграл Дюамеля для линейной стационарной системы. Разложение периодической нагрузки в ряд Фурье и суперпозиция гармонических откликов. Длительность воздействия относительно собственного периода на примере удара по опоре. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.12	Отклик на ступень и импульс силы /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.13	Построение расчетных схем поступательных и крутильных колебаний . Вывод приведенных параметров через энергию . Сопоставление режимов затухания и оценка декремента . Параметрическое исследование резонансной кривой . Сравнение опор по виброизоляции и статической осадке . Сравнение откликов на импульсную и периодическую нагрузки. /Ср/	4	36	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
	Раздел 2. Связанные колебания и вычислительный анализ							
2.1	Система с двумя степенями свободы Выбор координат и составление матриц масс и жесткости двухмассовой системы. Обобщенная собственная задача $(K - \omega^2 M)\varphi = 0$ и физический смысл ее решений. Две собственные частоты и относительные перемещения масс в формах колебаний. Разложение свободного движения по собственным формам с учетом начальных условий. Биения близких частот и обмен энергией между связанными осцилляторами. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
2.2	Собственные частоты и формы двухмассовой системы /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			

2.3	Модальный анализ и динамический гаситель Ортогональность собственных форм симметричной консервативной системы с положительно определенной M. Модальные координаты и расцепление уравнений при отсутствии или пропорциональности демпфирования. Модальные силы и вклад отдельных форм в установившийся отклик. Динамический гаситель колебаний: настройка добавочной массы и пружины на частоту возбуждения. Антирезонанс основной массы и ограничения гасителя при расстройке и демпфировании. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
2.4	Модальный расчет и настройка гасителя /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
2.5	Численное решение задач колебаний Переход от уравнения второго порядка к системе первого порядка для численного интегрирования. Шаг, допуски и начальные условия; вывод результатов на равномерной временной сетке. Проверка решения осциллятора по аналитическому эталону и балансу энергии. Численное решение симметричной обобщенной собственной задачи и проверка невязок. Воспроизводимый расчет в MATLAB, GNU Octave или Python: параметры, единицы, графики и оценка погрешности. /Лек/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
2.6	Численное интегрирование и проверка погрешности /Пр/	4	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
2.7	Расчет собственных форм и биений двухмассовой системы. Проверка настройки гасителя при изменении частоты . Подготовка воспроизводимой вычислительной модели и систематизация материала семестра . /Ср/	4	18	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
	Раздел 3. Распределенные системы и инженерные модели							

3.1	Продольные и крутильные колебания упругих элементов От распределенной массы к полю перемещений; допущения однородного стержня и вала. Уравнение продольных колебаний и скорость распространения продольной волны в стержневой модели. Граничные и начальные условия; разделение переменных для свободного движения. Собственные частоты и формы стержня с закрепленными и свободными концами. Аналогия с крутильными колебаниями круглого вала; влияние длины и условий закрепления на спектр. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
3.2	Спектр продольных колебаний стержня Крутильные формы однородного вала /Пр/	5	4	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
3.3	Изгибные колебания балок Предпосылки модели Эйлера — Бернулли и уравнение поперечных колебаний однородной балки. Граничные условия шарнирного, жесткого и свободного конца через перемещение, угол, момент и поперечную силу. Собственные формы и частоты шарнирно опертой балки постоянного сечения. Качественное влияние закрепления, распределенной массы и изгибной жесткости на низшие частоты. Область применимости балочной модели; причины учета сдвига и инерции вращения для коротких и толстых балок. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
3.4	Частоты и формы шарнирно опертой балки. Влияние закреплений на изгибные частоты /Пр/	5	4	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			

3.5	Приближенные методы и конечноэлементная модель Метод Рэлея как энергетическая оценка первой собственной частоты консервативной системы. Допустимая форма перемещения и выполнение существенных граничных условий. Метод Рэлея — Ритца: разложение по нескольким функциям и получение матричной собственной задачи. Матрицы масс и жесткости конечноэлементной модели; закрепления и нулевые частоты жесткого движения. Проверка низших частот по аналитическому решению и сгущению сетки; отделение ошибки модели от ошибки дискретизации. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
3.6	Оценка первой частоты методом Рэлея . Двухпараметрическое приближение Рэлея — Ритца . Сходимость частот конечноэлементной модели /Пр/	5	6	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
3.7	Сопоставление продольного и крутильного спектров. Расчет влияния длины и сечения на частоты балки . Сравнение аналитической энергетической и дискретной моделей . /Ср/	5	24	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
	Раздел 4. Устойчивость и нелинейные колебания							
4.1	Фазовая плоскость и устойчивость равновесия Фазовые переменные перемещение и скорость; траектории свободного осциллятора. Особые точки и локальная линеаризация автономной системы второго порядка. Собственные значения линеаризованной системы; центр, устойчивый фокус, узел и седло. Различие устойчивости и асимптотической устойчивости; энергия как функция Ляпунова в механическом примере. Границы выводов по линеаризации при нулевых действительных частях собственных значений. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
4.2	Фазовые траектории и классификация равновесий . Энергетическая проверка устойчивости . /Пр/	5	4	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1	2		работа в команде

4.3	Свободные и вынужденные нелинейные колебания Геометрическая и физическая нелинейность; осциллятор с кубической восстанавливающей силой. Зависимость периода от амплитуды в консервативной нелинейной системе. Одногармоническое приближение для осциллятора Дуффинга и эквивалентная амплитудно-зависимая жесткость. Жесткая и мягкая амплитудно-частотные характеристики; возможность нескольких периодических откликов. Численное продолжение отклика при медленном изменении частоты; необходимость отдельной проверки устойчивости ветвей. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
4.4	Амплитудная зависимость частоты осциллятора Дуффинга . Гармонический баланс и ветви отклика . /Пр/	5	4	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
4.5	Параметрические колебания и автоколебания Изменение жесткости во времени и отличие параметрического возбуждения от внешней силы. Уравнение типа Матье; основная область параметрической неустойчивости вблизи удвоенной собственной частоты. Влияние демпфирования и глубины модуляции на возникновение параметрического роста. Автоколебательная система и источник энергии; отрицательное демпфирование при малых амплитудах. Предельный цикл в модели Ван дер Поля; различие автоколебаний, свободного затухания и вынужденного резонанса. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
4.6	Параметрическая неустойчивость модели Матье . Предельный цикл модели Ван дер Поля . /Пр/	5	4	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
4.7	Анализ фазовых портретов и условий устойчивости. Исследование амплитудной зависимости нелинейного отклика. Сравнение параметрических и автоколебательных режимов. /Ср/	5	22	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			

	Раздел 5. Измерение и применение колебательного анализа							
5.1	Спектральный анализ и идентификация Измерение виброускорения, виброскорости и виброперемещения; единицы и выбор измеряемой величины. Частота дискретизации, ограничение Найквиста и необходимость подавления наложения спектров до оцифровки. Длительность записи, частотное разрешение и оконная обработка при вычислении спектра. Спектр гармонического сигнала и спектральная плотность мощности случайной вибрации; их разные единицы. Оценка собственных частот и демпфирования по свободному выбегу и частотной характеристике; различие резонансного пика и собственной частоты. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
5.2	Дискретизация и спектр вибрационного сигнала . Оценка демпфирования и сравнение с расчетом. /Пр/	5	4	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
5.3	Вибрации машин и проверка расчетных моделей Дисбаланс ротора как источник возбуждения: сила $m_e e\Omega^2$ и ее зависимость от скорости вращения. Критическая скорость простейшего ротора на упругих опорах и ограничения модели без гироскопических эффектов. Выбор мер снижения вибрации: балансировка, изменение жесткости, демпфирование, виброизоляция и гаситель. Сопоставление расчетных частот и измеренного спектра; причины расхождений и чувствительность к параметрам. Обоснование инженерного решения по частотам, амплитудам и границам применимости модели; фиксация неопределенности исходных данных. /Лек/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
5.4	Дисбаланс ротора и критическая скорость . Сравнение вариантов снижения вибрации машины . /Пр/	5	4	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			

5.5	Обработка записи вибрации и оценка параметров . Обоснование способа снижения вибрации. /Ср/	5	14	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
5.6	Консультации и прием КР /КрТО/	5	2	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
5.7	Консультации и прием экзамена /КрЭк/	5	0,3	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
	Раздел 6. Лабораторный практикум							
6.1	Измерение периода свободных колебаний и определение эквивалентной жесткости. /Лаб/	4	3	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
6.2	Определение логарифмического декремента и коэффициента вязкого сопротивления. /Лаб/	4	3	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
6.3	Снятие амплитудной и фазовой частотных характеристик /Лаб/	4	3	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
6.4	Исследование передачи вибрации через упругую опору. /Лаб/	4	3	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
6.5	Экспериментальное определение двух собственных частот связанной системы. /Лаб/	4	3	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			
6.6	Исследование настройки динамического гасителя колебаний. /Лаб/	4	3	ПК-1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Контрольные вопросы и задания

Вопросы для текущего контроля

1. Как выбрать число степеней свободы и проверить достаточность расчетной схемы?
2. Как изменяется уравнение вертикального осциллятора при отсчете от статического равновесия?
3. Как получить приведенные массу и жесткость через выражения энергии?
4. При каких условиях допустима линеаризация восстанавливающей силы?
5. Как связаны круговая частота, частота в герцах и период?
6. Как определить режим свободного движения по коэффициенту демпфирования?
7. Как найти демпфирование по амплитудам нескольких пиков?
8. Почему частота затухания отличается от собственной частоты недемпфированной системы?
9. Как получить амплитуду и фазу установившегося отклика при силовом возбуждении?
10. Когда максимум перемещения возникает ниже собственной частоты и когда резонансного максимума нет?
11. Чем отличаются абсолютное перемещение массы и относительный ход при движении основания?
12. Почему увеличение демпфирования по-разному влияет на резонанс и высокочастотную виброизоляцию?
13. Как задается начальная скорость после идеализированного импульса силы?
14. Когда применимы интеграл Дюамеля и принцип суперпозиции?
15. Как получить M и K двухмассовой системы и проверить их симметрию?
16. Как интерпретировать собственные формы и их произвольную нормировку?
17. При каких предпосылках модальные уравнения расцепляются?
18. Чем антирезонанс отличается от резонанса и почему гаситель чувствителен к расстройке?
19. Как проверять численное интегрирование по аналитическому решению и энергии?
20. Чем отличаются начальные и граничные условия распределенной системы?
21. Как условия закрепления влияют на продольный и крутильный спектры?
22. Какие граничные условия соответствуют шарнирному жесткому и свободному концам балки?
23. Почему для тонкой балки может быть достаточна модель Эйлера — Бернулли?
24. Как выбрать допустимую функцию в методе Рэлея и оценить качество результата?
25. Как отличить нулевую моду жесткого движения от ошибки закрепления конечноэлементной модели?
26. Как оценить локальную устойчивость по собственным значениям и где эта проверка недостаточна?
27. Какие фазовые портреты имеют консервативный и вязко демпфированный линейные осцилляторы?
28. Как кубическая жесткость влияет на частоту и форму амплитудной характеристики?
29. Почему гармонический баланс сам по себе не доказывает устойчивость найденной ветви?
30. Чем параметрическое возбуждение отличается от силового и автоколебательного?

31. Что означает предельный цикл и как возникает ограничение амплитуды автоколебаний?
32. Как выбор частоты дискретизации окна и длительности записи влияет на спектр?
33. Чем спектральная плотность мощности отличается от амплитудного спектра?
34. Как связаны дисбаланс скорость вращения и критическая скорость простейшего ротора?
Задания для текущего контроля и аттестации
Для всех задач использовать СИ, x — перемещение относительно равновесия. Округление численных ответов — до трех значащих цифр. Исходные данные учебные, они не описывают реальный объект КРСУ. Задания З1–З4 и З8 относятся к 4-му семестру; З5–З7 — к 5-му.
З1 Свободное затухание
Для m = 10 кг, k = 4000 Н/м, c = 40 Н·с/м определить собственную частоту ω_0, относительное демпфирование ζ, частоту ω_d и период T_d. Получить x(t) при x(0) = 0,01 м и $\dot{x}(0) = 0$. Показать убывание энергии.
З2 Гармоническая сила
Для системы З1 действует $F(t) = 100\cos(18t)$ Н. Найти установившуюся амплитуду перемещения и запаздывание фазы. Сопоставить результат со статическим перемещением F_0/k и определить коэффициент динамичности.
З3 Виброизоляция
Основание движется по закону $y = Y\cos \Omega t$; $\zeta = 0{,}10$, $\Omega/\omega_0 = 3$, Y = 1 мм. Определить коэффициент передачи абсолютного перемещения и амплитуду X. Проверить условие виброизоляции. Объяснить, почему относительный ход нельзя заменять X.
З4 Связанные массы
Две одинаковые массы m = 2 кг соединены тремя одинаковыми пружинами k = 2000 Н/м по схеме стена — пружина — масса — пружина — масса — пружина — стена. Демпфирования нет. Составить M и K, определить две частоты и формы. Получить движение при $x_1(0) = 0{,}01$ м, $x_2(0) = 0$ и нулевых скоростях.
З5 Изгибная частота
Однородная шарнирно опертая балка: L = 0,8 м, $E = 210\cdot10^9$ Па, $\rho = 7800$ кг/м³, площадь $A = 3\cdot10^{-4}$ м², момент инерции $I = 1{,}5\cdot10^{-8}$ м⁴. По модели Эйлера — Бернулли определить первую частоту f_1. Получить ее же методом Рэлея с $\varphi = \sin(\pi x/L)$; объяснить совпадение.
З6 Идентификация
Соседние положительные пики свободного затухания равны 10 и 8 мм, интервал между ними 0,32 с; масса 5 кг. Считая демпфирование вязким, определить декремент, ζ, ω_0, k и c. Указать, какие ошибки измерения наиболее существенно влияют на c.
З7 Численная модель Дуффинга
Интегрировать $\ddot{x} + 0{,}1\dot{x} + x + 0{,}2x^3 = 0$ при x(0) = 1 м, $\dot{x}(0) = 0$ на 0–100 с. Коэффициенты размерны: $c/m = 0{,}1$ с⁻¹, $k/m = 1$ с⁻², $\alpha/m = 0{,}2$ м⁻²с⁻². Построить x(t), фазовую траекторию и удельную энергию. Повторить расчет с более строгими допусками и оценить отличие. Объяснить изменение периода по мере затухания.
З8 Импульсное воздействие
Для недемпфированного осциллятора m = 5 кг, k = 2000 Н/м из состояния покоя действует идеальный импульс J = 2 Н·с. Определить скорость сразу после импульса, закон движения и максимальное перемещение. Объяснить условие применимости импульсной идеализации.
Вопросы промежуточной аттестации
Для зачета используются вопросы 1–19 и задания З1–З4, З8. Для экзамена — вопросы 1–34 и З1–З8 с обязательным включением материала 5-го семестра. Экзаменационный вопрос предполагает связное объяснение с выводом основного соотношения, расчетной схемой и границами применимости.
Укрупненные темы экзамена: моделирование и линеаризация; затухание и идентификация; силовое и кинематическое возбуждение; переходные процессы; связанные колебания и модальный метод; распределенные системы; приближенные и численные методы; устойчивость; нелинейные, параметрические и автоколебания; обработка вибрационных данных и инженерное снижение вибрации.

5.2. Темы курсовых работ (проектов)

Предлагаются следующие темы курсовых работ:
1. Расчет и компьютерное моделирование виброизоляции промышленного оборудования. Выбор жесткости и демпфирования опор, оценка передачи вибрации и статической осадки.
2. Разработка динамического гасителя колебаний механической системы. Определение параметров гасителя и исследование эффективности при изменении частоты возбуждения.
3. Исследование собственных частот и форм изгибных колебаний балки. Сравнение аналитического и конечноэлементного решений при различных условиях закрепления.
4. Расчет крутильных колебаний двухмассового машинного привода. Построение расчетной модели, определение собственных частот и выявление резонансных режимов.
5. Исследование вынужденных колебаний ротора с дисбалансом на упругих опорах. Определение критической скорости и оценка влияния жесткости и демпфирования опор.
6. Модальный анализ и расчет вынужденных колебаний механической системы с несколькими степенями свободы. Определение вклада собственных форм в динамический отклик.
7. Определение параметров колебательной системы по экспериментальным данным. Оценка собственной частоты, коэффициента демпфирования и точности идентификации.
8. Компьютерное исследование нелинейных колебаний системы с кубической жесткостью. Анализ зависимости частоты от амплитуды и особенностей вынужденного отклика.
9. Исследование параметрических колебаний системы с периодически изменяющейся жесткостью. Определение областей неустойчивости и влияния демпфирования.
10. Расчет переходных колебаний упругой системы при ударном воздействии. Сравнение отклика на идеальный импульс и

нагрузку конечной длительности, оценка максимальных перемещений.

5.3. Фонд оценочных средств

Организация текущего контроля
4-й семестр: опросы после лекций 1–2, 3–6 и 7–9; проверка ПР 1–9; защита ЛР 1–6; контрольная работа КР1 после лекции 9. КР1 содержит З2 и З4, время 90 академических минут. Варианты допускается получать изменением физических параметров после пересчета ключей.
5-й семестр: опросы по разделам 4–6; проверка ПР 10–26; контрольная работа КР2 после лекции 16. КР2 содержит З5 и З6, время 90 академических минут. Расчетно-компьютерная работа — З7 с индивидуальной защитой после лекции 17. Самостоятельные работы проверяются выборочно по расчетам и обязательному обсуждению выводов. Лабораторный отчет содержит схему, исходные измерения, метод обработки, оценку разброса и вывод; готовый график без исходных данных недостаточен.

Вопросы для текущего контроля
1. Как выбрать число степеней свободы и проверить достаточность расчетной схемы?
2. Как изменяется уравнение вертикального осциллятора при отсчете от статического равновесия?
3. Как получить приведенные массу и жесткость через выражения энергии?
4. При каких условиях допустима линеаризация восстанавливающей силы?
5. Как связаны круговая частота, частота в герцах и период?
6. Как определить режим свободного движения по коэффициенту демпфирования?
7. Как найти демпфирование по амплитудам нескольких пиков?
8. Почему частота затухания отличается от собственной частоты недемпфированной системы?
9. Как получить амплитуду и фазу установившегося отклика при силовом возбуждении?
10. Когда максимум перемещения возникает ниже собственной частоты и когда резонансного максимума нет?
11. Чем отличаются абсолютное перемещение массы и относительный ход при движении основания?
12. Почему увеличение демпфирования по-разному влияет на резонанс и высокочастотную виброизоляцию?
13. Как задается начальная скорость после идеализированного импульса силы?
14. Когда применимы интеграл Дюамеля и принцип суперпозиции?
15. Как получить M и K двухмассовой системы и проверить их симметрию?
16. Как интерпретировать собственные формы и их произвольную нормировку?
17. При каких предпосылках модальные уравнения расцепляются?
18. Чем антирезонанс отличается от резонанса и почему гаситель чувствителен к расстройке?
19. Как проверять численное интегрирование по аналитическому решению и энергии?
20. Чем отличаются начальные и граничные условия распределенной системы?
21. Как условия закрепления влияют на продольный и крутильный спектры?
22. Какие граничные условия соответствуют шарнирному жесткому и свободному концам балки?
23. Почему для тонкой балки может быть достаточна модель Эйлера — Бернулли?
24. Как выбрать допустимую функцию в методе Рэлея и оценить качество результата?
25. Как отличить нулевую моду жесткого движения от ошибки закрепления конечноэлементной модели?
26. Как оценить локальную устойчивость по собственным значениям и где эта проверка недостаточна?
27. Какие фазовые портреты имеют консервативный и вязко демпфированный линейные осцилляторы?
28. Как кубическая жесткость влияет на частоту и форму амплитудной характеристики?
29. Почему гармонический баланс сам по себе не доказывает устойчивость найденной ветви?
30. Чем параметрическое возбуждение отличается от силового и автоколебательного?
31. Что означает предельный цикл и как возникает ограничение амплитуды автоколебаний?
32. Как выбор частоты дискретизации окна и длительности записи влияет на спектр?
33. Чем спектральная плотность мощности отличается от амплитудного спектра?
34. Как связаны дисбаланс скорость вращения и критическая скорость простейшего ротора?

Задания для текущего контроля и аттестации
Для всех задач использовать СИ, x — перемещение относительно равновесия. Округление численных ответов — до трех значащих цифр. Исходные данные учебные, они не описывают реальный объект КРСУ. Задания З1–З4 и З8 относятся к 4-му семестру; З5–З7 — к 5-му.
З1 Свободное затухание
Для $m = 10$ кг, $k = 4000$ Н/м, $c = 40$ Н·с/м определить собственную частоту ω_0, относительное демпфирование ζ, частоту ω_d и период T_d. Получить $x(t)$ при $x(0) = 0{,}01$ м и $\dot{x}(0) = 0$. Показать убывание энергии.
З2 Гармоническая сила
Для системы З1 действует $F(t) = 100\cos(18t)$ Н. Найти установившуюся амплитуду перемещения и запаздывание фазы. Сопоставить результат со статическим перемещением F_0/k и определить коэффициент динамичности.
З3 Виброизоляция
Основание движется по закону $y = Y\cos\Omega t$; $\zeta = 0{,}10$, $\Omega/\omega_0 = 3$, $Y = 1$ мм. Определить коэффициент передачи абсолютного перемещения и амплитуду X. Проверить условие виброизоляции. Объяснить, почему относительный ход нельзя заменять X.
З4 Связанные массы
Две одинаковые массы $m = 2$ кг соединены тремя одинаковыми пружинами $k = 2000$ Н/м по схеме стена — пружина — масса — пружина — масса — пружина — стена. Демпфирования нет. Составить M и K, определить две частоты и формы. Получить движение при $x_1(0) = 0{,}01$ м, $x_2(0) = 0$ и нулевых скоростях.
З5 Изгибная частота
Однородная шарнирно опертая балка: $L = 0{,}8$ м, $E = 210\cdot10^9$ Па, $\rho = 7800$ кг/м³, площадь $A = 3\cdot10^{-4}$ м², момент инерции $I =$

$1{,}5\cdot10^{-8}$ м⁴. По модели Эйлера — Бернулли определить первую частоту f_1. Получить ее же методом Рэлея с $\varphi = \sin(\pi x/L)$; объяснить совпадение.

36 Идентификация

Соседние положительные пики свободного затухания равны 10 и 8 мм, интервал между ними 0,32 с; масса 5 кг. Считая демпфирование вязким, определить декремент, ζ, ω_0, k и c. Указать, какие ошибки измерения наиболее существенно влияют на c.

37 Численная модель Дуффинга

Интегрировать $\ddot{x} + 0{,}1\dot{x} + x + 0{,}2x^3 = 0$ при $x(0) = 1$ м, $\dot{x}(0) = 0$ на 0–100 с. Коэффициенты размерны: $c/m = 0{,}1$ с$^{-1}$, $k/m = 1$ с$^{-2}$, $\alpha/m = 0{,}2$ м$^{-2}$с$^{-2}$. Построить $x(t)$, фазовую траекторию и удельную энергию. Повторить расчет с более строгими допусками и оценить отличие. Объяснить изменение периода по мере затухания.

38 Импульсное воздействие

Для недемпфированного осциллятора $m = 5$ кг, $k = 2000$ Н/м из состояния покоя действует идеальный импульс $J = 2$ Н·с. Определить скорость сразу после импульса, закон движения и максимальное перемещение. Объяснить условие применимости импульсной идеализации.

Вопросы промежуточной аттестации

Для зачета используются вопросы 1–19 и задания 31–34, 38. Для экзамена — вопросы 1–34 и 31–38 с обязательным включением материала 5-го семестра. Экзаменационный вопрос предполагает связное объяснение с выводом основного соотношения, расчетной схемой и границами применимости.

Укрупненные темы экзамена: моделирование и линеаризация; затухание и идентификация; силовое и кинематическое возбуждение; переходные процессы; связанные колебания и модальный метод; распределенные системы; приближенные и численные методы; устойчивость; нелинейные, параметрические и автоколебания; обработка вибрационных данных и инженерное снижение вибрации.

Тест для рубежного контроля

12 вопросов с одним правильным ответом, 20 академических минут. Вопросы Т1–Т8 соответствуют 4-му семестру; Т9–Т12 — 5-му. Тест проверяет понятийную базу и не заменяет решение задач.

Т1 Удвоение массы при неизменной жесткости изменяет собственную частоту

А увеличивает в 2 раза; Б уменьшает в $\sqrt{2}$ раза; В не изменяет; Г уменьшает в 2 раза.

Т2 Критическое вязкое сопротивление равно

А k/m; Б $\sqrt{(km)}$; В $2\sqrt{(km)}$; Г $2k/m$.

Т3 Логарифмический декремент соседних положительных пиков равен

А $\ln(A_n/A_{n+1})$; Б $A_n - A_{n+1}$; В A_{n+1}/A_n; Г $\ln(A_nA_{n+1})$.

Т4 Для линейной системы с $\zeta \geq 1/\sqrt{2}$ амплитуда перемещения при постоянной амплитуде гармонической силы

А всегда максимальна при ω_0; Б имеет два резонанса; В не зависит от частоты; Г не имеет внутреннего резонансного максимума при положительной частоте.

Т5 При вязкой модели опоры коэффициент передачи абсолютного перемещения основания становится меньше единицы при

А $r < 1$; Б $r > \sqrt{2}$; В $r = 1$; Г любом $r > 0$.

Т6 Собственные частоты недемпфированной системы определяются из

А $\det M = 0$; Б $K\varphi = 0$; В $\det(K - \omega^2 M) = 0$; Г $\det(K + M) = 0$.

Т7 Масштабирование собственной формы ненулевым числом

А не меняет соответствующую собственную частоту; Б удваивает частоту; В меняет жесткость; Г устраняет ортогональность с любой другой формой.

Т8 При идеальном импульсе силы J скорость массы изменяется на

А Jk; Б Jm; В J/k; Г J/m.

Т9 При удвоении длины однородной шарнирно опертой балки с тем же сечением первая изгибная частота

А удваивается; Б уменьшается в 4 раза; В уменьшается в 2 раза; Г не меняется.

Т10 У собственных значений линейной автономной системы строго отрицательные действительные части. Равновесие

А неустойчиво; Б является центром; В асимптотически устойчиво; Г не может быть классифицировано.

Т11 Основная область параметрического резонанса при малой модуляции жесткости расположена вблизи

А $\Omega = 2\omega_0$; Б $\Omega = 0$; В $\Omega = \omega_0/10$; Г любой Ω без ограничения.

Т12 Для записи длительностью T без дополнения нулями расстояние между частотными отсчетами ДПФ равно

А T; Б $2\pi T$; В $f_s T$; Г $1/T$.

Ключ: Т1 — Б; Т2 — В; Т3 — А; Т4 — Г; Т5 — Б; Т6 — В; Т7 — А; Т8 — Г; Т9 — Б; Т10 — В; Т11 — А; Т12 — Г. Один верный ответ — 1 балл, неверный или пропущенный — 0. Для всего теста: 10–12 — высокий уровень, 8–9 — достаточный, 6–7 — пороговый, 0–5 — недостаточный. Для блока Т1–Т8: соответственно 7–8, 6, 4–5, 0–3 балла.

Эталоны расчетных заданий

31. $\omega_0 = \sqrt{(k/m)} = 20$ рад/с; $\zeta = c/(2\sqrt{(km)}) = 0{,}100$; $\omega d = \omega_0\sqrt{(1 - \zeta^2)} = 19{,}9$ рад/с; $Td = 0{,}316$ с. $x(t) = e^{(-2t)}[0{,}01\cos(19{,}8997t) + 0{,}00100504\sin(19{,}8997t)]$ м. $E = m\dot{x}^2/2 + kx^2/2$; $dE/dt = -c\dot{x}^2 \leq 0$.

32. $X = F_0/\sqrt{[(k - m\Omega^2)^2 + (c\Omega)^2]} = 0{,}0955$ м; $\varphi = \operatorname{atan2}(c\Omega,\ k - m\Omega^2) = 43{,}5°$. $x_{уст} = X\cos(18t - \varphi)$. Статическое перемещение 0,0250 м; коэффициент динамичности 3,82.

33. $T = \sqrt{[(1 + (2\zeta r)^2)/((1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2)]} = 0{,}145$. $X = 0{,}145$ мм. $r = 3 > \sqrt{2}$, поэтому абсолютное перемещение изолируется. Относительный ход определяется разностью комплексных амплитуд X и Y с учетом фаз.

34. $M = \operatorname{diag}(2, 2)$ кг; $K = [[4000, -2000], [-2000, 4000]]$ Н/м. $\omega_1 = \sqrt{1000} = 31{,}6$ рад/с, $\varphi_1 = (1,1)$; $\omega_2 = \sqrt{3000} = 54{,}8$ рад/с, $\varphi_2 = (1,-1)$. $x_1 = 0{,}005[\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)]$, $x_2 = 0{,}005[\cos(\omega_1 t) - \cos(\omega_2 t)]$ м.

35. $\omega_1 = (\pi^2/L^2)\sqrt{(EI/(\rho A))}$, $f_1 = \omega_1/(2\pi) = 90{,}1$ Гц. В отношении Рэлея $\omega^2 = \int EI(\varphi'')^2 dx \,/\, \int \rho A\varphi^2 dx$ пробная функция является точной первой формой, поэтому результат совпадает с аналитическим.

36. $\delta = \ln(10/8) = 0{,}223$; $\zeta = \delta/\sqrt{(4\pi^2 + \delta^2)} = 0{,}0355$; $\omega d = 2\pi/0{,}32 = 19{,}635$ рад/с; $\omega_0 = 19{,}6$ рад/с; $k = 1{,}93\cdot10^3$ Н/м; $c = 6{,}97$

Н·с/м. Декремент мал, поэтому ошибки выделения пиков и шум заметно искажают оценку c; полезно усреднение по нескольким периодам.
З7. Эталон качества: переход к y = (x,v); $\dot{x} = v$, $\dot{v} = -0{,}1v - x - 0{,}2x^3$. Удельная энергия $e = v^2/2 + x^2/2 + 0{,}05x^4$, $e(0) = 0{,}55$ м²/с²; $de/dt = -0{,}1v^2 \le 0$. Траектория стремится к началу координат. При уменьшении амплитуды частота жесткого осциллятора приближается к 1 рад/с сверху. Сравнить решения на общей сетке; критерий учебной проверки — $\max|x_{точн} - x_{баз}| < 10^{-4}$ м, при несоблюдении уточнить допуски. Численный рост энергии сверх погрешности требует проверки расчета.
З8. $\omega_0 = 20$ рад/с; $\dot{x}(0+) = J/m = 0{,}400$ м/с; $x(t) = J/(m\omega_0)\sin(\omega_0 t) = 0{,}0200\sin(20t)$ м; $X_{max} = 20{,}0$ мм. Длительность реального импульса должна быть мала относительно собственного периода; его форма при этом заменяется интегральной величиной J.

Критерии оценивания расчетов и защит

Средство Распределение баллов Признаки достаточного выполнения

Одна задача, 10 баллов Модель 2; уравнения и метод 3; вычисления 3; проверка и вывод 2 Не менее 6; корректны модель и основной метод, приведены единицы

Контрольная, 20 баллов Две задачи по 10 баллов Не менее 12 в сумме и не менее 4 за каждую задачу

Лабораторная, 10 баллов Схема и метод 2; первичные данные 2; обработка 3; погрешность и защита 3 Не менее 6; представлены первичные данные и объяснен метод обработки

Компьютерная, 20 баллов Постановка 4; реализация 4; проверка 6; интерпретация и защита 6 Не менее 12; расчет воспроизводится, проверены погрешность и физический смысл

Устный ответ, 10 баллов Понятия 3; вывод или схема 3; применимость 2; ответы на уточнения 2 Не менее 6; отсутствует существенная ошибка в основном физическом объяснении

Численные ключи считаются совпавшими при относительном расхождении до 1% из-за округления, если метод верен; для З7 действует отдельный критерий сходимости. Условие и критерии сообщаются до выполнения. Если исходная модель ошибочна, баллы за последующие арифметически согласованные действия начисляются отдельно, но результат не признается достаточным без исправления модели.

Сформированность Р1–Р4 фиксируется отдельно по соответствующим работам: пороговый уровень — корректный базовый метод с отдельными исправимыми ошибками; достаточный — самостоятельное решение и обоснованная проверка; высокий — дополнительно анализ чувствительности и ограничений. Недостаточный уровень — не построена работоспособная модель или не объяснены собственные результаты.

Процедура зачета и экзамена

Предлагаемый зачет 4-го семестра: один вопрос 1–19, одна задача из З1–З4 или З8 и индивидуальные уточнения по лабораторным отчетам. Подготовка — 45 академических минут, ответ и защита — до 15. Вопрос оценивается из 10, задача из 10. «Зачтено» — не менее 12 из 20 и не менее 6 за каждый компонент; достаточное выполнение ЛР 1–6 подтверждает Р3. Порядок допуска определяется локальными актами вуза, данный проект его не устанавливает.

Предлагаемый экзамен 5-го семестра: два теоретических вопроса по 10 баллов и одна задача на 20 баллов. Задача оценивается по удвоенной шкале обычной задачи. Подготовка — 60 академических минут, ответ — до 20. Максимум 40 баллов; 34–40 — «отлично», 28–33 — «хорошо», 24–27 — «удовлетворительно», 0–23 — «неудовлетворительно». Дополнительные минимумы: не менее 5 за каждый вопрос и 10 за задачу; при невыполнении любого минимума — «неудовлетворительно». Это предлагаемая шкала, требующая согласования с локальным порядком КРСУ.

Для зачета и экзамена разрешается непрограммируемый калькулятор и единый лист исходных формул, подготовленный преподавателем. Доступ к готовым решениям исключается. Компьютерные и экспериментальные навыки проверяются при текущем контроле; на экзамене обучающийся объясняет их методы и результаты. Итоговая отметка не выводится из среднего балла лабораторных без утвержденного локального правила.

Комплект экзаменационных билетов

Номера вопросов относятся к списку 1–34; условия задач — к З1–З8. Во всех билетах присутствует материал 5-го семестра. Параметры З7 для экзамена не интегрируют вручную: требуется составить систему первого порядка, вывести энергетический баланс и описать проверку сходимости.

Билет Вопросы Задача

1 3 и 22 З2

2 9 и 26 З5

3 15 и 30 З6

4 17 и 28 З4

5 12 и 32 З1

6 14 и 24 З8

7 7 и 31 З5

8 18 и 33 З3

9 19 и 29 З7

10 21 и 34 З6

Пример зачётного комплекта: вопрос 7 и З2; вопрос 15 и З8; вопрос 12 и З4. Замена заданий допустима только с сохранением проверяемого результата и сопоставимой трудности.

5.4. Перечень видов оценочных средств

Устный опрос по расчетным схемам, физическому смыслу параметров и границам моделей.

Тематические тесты с выбором ответа и коротким численным ответом.

Проверяемые решения практических задач и две рубежные контрольные работы.

Отчеты и индивидуальная защита лабораторных работ с анализом измерений.

Расчетно-компьютерные работы с исходным кодом, проверкой погрешности и интерпретацией результата.
Индивидуальные самостоятельные расчеты и краткий аналитический обзор источников по выбранной задаче.
Комплект вопросов и расчетных заданий для зачета и экзамена в рамках принятого допущения о формах 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	Бабаков И.М.	Теория колебаний: учебное пособие	М. 1968

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Еремьянц В.Э., Рудаев Я.И., Тютюкин Г.В.	Аналитическая динамика и теория колебаний. Ч. 1.: учебное пособие	Бишкек 2014
Л2.2	Еремьянц В.Э., Рудаев Я.И., Тютюкин Г.В.	Аналитическая динамика и теория колебаний. Ч. 2.: учебное пособие	Бишкек: Изд-во КРСУ 2014

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Еремьянц В.Э., Тютюкин Г.В.	Аналитическая динамика и теория колебаний: курсовое проектирование	Бишкек: Изд-во КРСУ 2012

6.3. Перечень информационных и образовательных технологий

6.3.1 Компетентностно-ориентированные образовательные технологии

6.3.1.1	MATLAB
6.3.1.2	Матричные расчеты, численное интегрирование, обработка временных рядов и визуализация. Средства экспериментального модального анализа используются при наличии соответствующих дополнительных модулей. https://www.mathworks.com/help/matlab/ ; https://www.mathworks.com/help/signal/vibration-analysis.html
6.3.1.3	GNU Octave
6.3.1.4	Свободная среда для матричных вычислений и расчетов колебательных систем; возможна адаптация многих MATLAB-скриптов с проверкой совместимости используемых функций и пакетов. https://www.octave.org/
6.3.1.5	Python с NumPy SciPy и Matplotlib
6.3.1.6	Численное интегрирование через solve_ivp, решение обобщенной собственной задачи через scipy.linalg.eigh, спектральные оценки средствами scipy.signal и построение графиков. https://docs.scipy.org/doc/scipy/ ; https://matplotlib.org/stable/

6.3.2 Перечень информационных справочных систем и программного обеспечения

6.3.2.1	eLIBRARY RU
6.3.2.2	Поиск научных публикаций по динамике машин, колебаниям, вибродиагностике и вычислительным методам. Условия доступа к полным текстам зависят от издания и регистрации. https://elibrary.ru/
6.3.2.3	КиберЛенинка
6.3.2.4	Поиск открытых научных статей по механике и машиностроению; проверка библиографии и исходных предпосылок обязательна. https://cyberleninka.ru/
6.3.2.5	MIT OpenCourseWare
6.3.2.6	Открытый учебный ресурс для сопоставления выводов и примеров по механическим колебаниям, многомассовым системам и модальному анализу. https://ocw.mit.edu/
6.3.2.7	MathWorks Documentation
6.3.2.8	Официальная информационно-справочная система по решателям дифференциальных уравнений, анализу сигналов и модальным параметрам; не заменяет теоретическое обоснование модели. https://www.mathworks.com/help/
6.3.2.9	SciPy User Guide и API Reference
6.3.2.10	Официальная справочная система по численным решателям, собственной задаче и спектральной обработке, с указанием параметров алгоритмов и ограничений. https://docs.scipy.org/doc/scipy/
6.3.2.11	Первые два ресурса — научные электронные библиотеки; MIT OCW — учебный ресурс; MathWorks и SciPy — специализированные справочные системы.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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

Подготовка к изучению темы

Перед лекцией повторите необходимые сведения из теоретической и аналитической механики, линейной алгебры и дифференциальных уравнений. Для первых тем нужны уравнения Ньютона, энергия и гармонические функции; для связанных систем — собственные значения и матричные операции; для распределенных моделей — производные и граничные условия. Отмечайте в конспекте единицы, смысл параметров и допущения, при которых получена формула.

Решение расчетных задач

Начинайте со схемы и выбора координат. Укажите положение равновесия, направления положительных перемещений и внешних воздействий. Затем запишите энергии или силы, получите уравнение движения, начальные и при необходимости граничные условия. Подставляйте численные данные после проверки символических выражений. Различайте ω в рад/с и f в герцах; φ в тригонометрических функциях программ обычно задается в радианах.

Завершайте решение проверкой размерностей и предельных случаев. Для свободного недемпфированного движения проверьте сохранение энергии, при положительном вязком сопротивлении — ее убывание без внешнего возбуждения. Для частотной характеристики проверьте статический предел и поведение вдали от резонанса. Объясните, какой инженерный вывод следует из полученных амплитуд и частот.

Работа с вычислительной моделью

Выберите одну доступную среду и используйте ее последовательно. Сохраните в отдельном блоке параметры и единицы, затем задайте уравнения и начальные условия. Сначала воспроизведите аналитическое решение линейного осциллятора. Только после этой проверки переходите к многомерным или нелинейным моделям. При решении собственной задачи используйте M и K с согласованными единицами и контролируйте невязку $K\varphi - \omega^2 M\varphi$.

Для численного интегрирования запишите выбранный решатель, временной интервал, допуски и сетку выдачи результата. Повторите расчет с уточненными параметрами интегрирования и сравните решения в одинаковые моменты времени. Не считайте совпадение двух графиков на экране доказательством сходимости. Для нелинейной системы проверьте энергетический баланс, а при анализе ветвей периодического отклика отдельно обсуждайте их устойчивость.

Лабораторные занятия и обработка данных

До опыта изучите инструкцию установки, диапазон датчиков и правила безопасной работы с движущимися частями. Не меняйте параметры работающей установки без разрешенного регламента. Записывайте исходные отсчеты, частоту дискретизации, длительность записи, режим возбуждения и единицы. Повторите измерение несколько раз, оцените разброс и выделите источники систематической ошибки.

При определении декремента используйте одноименные пики и точно указывайте число интервалов: $\delta = \ln(A_n/A_{n+p})/p$. Для спектрального анализа обеспечьте равномерную дискретизацию, удалите постоянную составляющую при необходимости и поясните выбор окна. Частота дискретизации должна учитывать максимальную полезную частоту и фильтрацию перед оцифровкой. Дополнение нулями уплотняет частотную сетку, но не заменяет увеличение длительности наблюдения.

В отчете разделяйте измеренные величины и расчетные оценки. Подпишите оси и единицы, приведите исходные данные и алгоритм обработки. Если используется предоставленная преподавателем запись вместо собственного опыта, прямо обозначьте это; обработка готовой записи не подтверждает навык настройки измерительной установки.

Самостоятельная работа и подготовка к контролю

Выполняйте СР по мере прохождения соответствующей лекции. Сначала восстановите ключевой вывод без конспекта, затем решите типовую задачу и измените один параметр, чтобы проверить понимание зависимости. Для сложной темы сформулируйте конкретное затруднение: выбор координат, знак силы, граничное условие, собственная форма или критерий устойчивости.

Готовясь к зачету и экзамену, объединяйте ответ в последовательность: модель, уравнение, метод, результат, проверка, область применимости. Проработайте задания З1–З8 своего семестра и объясните, почему выбран соответствующий метод. Для компьютерной работы подготовьте исходный файл, описание запуска и сравнение с эталоном. На защите необходимо объяснить каждую используемую величину и самостоятельно изменить один исходный параметр.

Работа с источниками

Ищите материалы по конкретной модели и методу: «модальный анализ балки», «логарифмический декремент», «Duffing oscillator», «parametric resonance». Различайте учебное изложение, исследовательскую статью и документацию программы. В конспекте фиксируйте автора, название, год, страницы либо ссылку и дату обращения. Проверяйте допущения источника перед переносом формулы в свою задачу; не переносите вывод для одного типа возбуждения на другой.