Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Министерство науки, высшего образования и инноваций
Кыргызской Республики

Межгосударственная образовательная организация высшего образования Кыргызско-Российский Славянский университет

имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина

Высшая школа Природопользования, мехатроники и транспорта

Фонд
оценочных средств

по дисциплине «Теория колебаний»

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки 15.03.03 — РФ, 650500 — КР
ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

Профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

Квалификация

бакалавр

2026 г.

Фонд оценочных средств предназначен для контроля знаний обучающихся по направлению подготовки 15.03.03 — РФ, 650500 — КР «Прикладная механика», профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг», по программе бакалавриата КРСУ в соответствии с ФГОС 3++ по дисциплине «Теория колебаний».

Фонд оценочных средств рассмотрен и утвержден на заседании

Высшей школы Природопользования, мехатроники и транспорта

протокол № 1 от «2 » сентября 2026 г.

Руководитель подразделения

_____ Алсеитов Мирлан Тилегенович
подпись *расшифровка подписи*

Исполнители:

к.ф.-м.н. _____ Герман Константин Анатольевич
должность *подпись* *расшифровка подписи*

к.т.н. _____ Джаманкулов Азамат Кенешбекович
должность *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:
Заместитель директора по образовательной деятельности
Политехнического института

_____ Комарцов Никита Михайлович
личная подпись расшифровка подписи

Содержание

1 Перечень компетенций и этапы их формирования

2 Технологическая карта дисциплины

3 Типовые контрольные задания и оценочные материалы

4 Процедуры и критерии оценивания

5 Методические указания для обучающихся

Сведения о дисциплине

Показатель	Сведения
Направление и профиль	15.03.03 — РФ, 650500 — КР, «Прикладная механика». Профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг». Бакалавриат, очная форма.
Цикл и трудоёмкость	Б1.В.1.ДВ.05. 252 академических часа, 7 ЗЕТ. 4-й семестр — 18 недель, 5-й — 17 2/6 недели.
Аттестация	Зачёт в 4-м семестре. Экзамен и курсовая работа в 5-м.
Исполнители	к.ф.-м.н. Герман Константин Анатольевич и к.т.н. Джаманкулов Азамат Кенешбекович.
Основание	РПД от 03.09.2026. Учебный план от 26.06.2026, протокол № 11. Одобрение РПД от 02.09.2026, протокол № 1.

1 Перечень компетенций и этапы их формирования

ПК-1. Способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследования, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

Пункт	Формулировка РПД	Проверка по дисциплине
3.1.1 Знать	Основные принципы и методы теории механизмов и машин, а также основы их конструирования. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин.	Р1, Р2. Выбор динамической схемы и расчёт частот, форм и отклика.
3.2.1 Уметь	Собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии.	Р3, Р4. Измерения, идентификация, проверка компьютерного результата.
3.3.1 Владеть	Навыками проведения инженерных расчётов и оформления проектной и конструкторской документации в соответствии с ЕСКД с использованием программных комплексов «Mat Cad», «КОМПАС-ГРАФИК».	Р1, Р2, Р4. Инженерный расчёт, схема, графики и воспроизводимая записка.

Результат	Наблюдаемое действие	Оценочные материалы
Р1 Модель	Выбирает координаты, параметры, допущения и составляет уравнения движения	Вопросы 1–4, 15, 20–25; ПР 1–3, 7, 10–16; З1, З4, З5
Р2 Расчет	Определяет частоты, формы, амплитуды и устойчивость; интерпретирует результат	Вопросы 5–18, 26–31, 34; ПР 4–8, 17–22, 25–26; З1–З5, З8
Р3 Эксперимент	Обрабатывает измерения, оценивает демпфирование и ограничения данных	ЛР 1–6; ПР 23–24; вопросы 7, 32–33; З6
Р4 Компьютерный анализ	Получает воспроизводимое решение и проверяет погрешность и физическую корректность	ПР 9, 14–16, 19–24; СР 9, 12–17; вопросы 19, 24–25, 28–33; З7

2 Технологическая карта дисциплины

Вид работы	4-й	5-й	Всего
Лекции	18	16	34
Практические	18	34	52
Лабораторные	18	—	18
Аудиторные	54	50	104
Иная контактная работа в период обучения	—	2	2
Контактная работа в сессию	—	0,3	0,3
Контактная работа всего	54	52,3	106,3
СРС	54	60	114

Вид работы	4-й	5-й	Всего
Часы на контроль	—	31,7	31,7
Итого	108	144	252

Семестр и раздел	Лекции	ПР	ЛР	СРС
4-й. Одномассовые модели	12	12	—	36
4-й. Связанные системы и вычисления	6	6	—	18
4-й. Лабораторный практикум	—	—	18	—
5-й. Распределённые системы	6	14	—	24
5-й. Нелинейные колебания и устойчивость	6	12	—	22
5-й. Спектр и вибрации машин	4	8	—	14

Вид контроля	4-й семестр	5-й семестр
Текущий	В1–В19, ПР1–ПР9, ЛР1–ЛР6, СР1–СР9.	В20–В34, ПР10–ПР26, СР10–СР17. З7 — расчётно-компьютерная работа с защитой после лекции 17.
Рубежный	КР1 после лекции 9, З2 и З4, 90 мин. Т1–Т8.	КР2 после лекции 16, З5 и З6, 90 мин. Т9–Т12.
Аттестация	Зачёт из 20 баллов.	Экзамен из 40 баллов. Курсовая работа оценивается отдельно.

Опросы и проверки проводят после соответствующих тем. Отчёты ЛР защищают индивидуально. Текущие баллы, контрольные и аттестацию фиксируют раздельно. Общая формула суммирования в РПД отсутствует.

3 Типовые контрольные задания и оценочные материалы

Блок А Проверка знаний

Вопросы по материалу 4-го семестра

В1. Как выбрать число степеней свободы и проверить достаточность расчетной схемы?

В2. Как изменяется уравнение вертикального осциллятора при отсчете от статического равновесия?

В3. Как получить приведенные массу и жесткость через выражения энергии?

В4. При каких условиях допустима линеаризация восстанавливающей силы?

В5. Как связаны круговая частота, частота в герцах и период?

В6. Как определить режим свободного движения по коэффициенту демпфирования?

В7. Как найти демпфирование по амплитудам нескольких пиков?

В8. Почему частота затухания отличается от собственной частоты недемпфированной системы?

В9. Как получить амплитуду и фазу установившегося отклика при силовом возбуждении?

В10. Когда максимум перемещения возникает ниже собственной частоты и когда резонансного максимума нет?

В11. Чем отличаются абсолютное перемещение массы и относительный ход при движении основания?

В12. Почему увеличение демпфирования по-разному влияет на резонанс и высокочастотную виброизоляцию?

В13. Как задается начальная скорость после идеализированного импульса силы?

В14. Когда применимы интеграл Дюамеля и принцип суперпозиции?

В15. Как получить M и K двухмассовой системы и проверить их симметрию?

В16. Как интерпретировать собственные формы и их произвольную нормировку?

В17. При каких предпосылках модальные уравнения расцепляются?

В18. Чем антирезонанс отличается от резонанса и почему гаситель чувствителен к расстройке?

В19. Как проверять численное интегрирование по аналитическому решению и энергии?

Вопросы по материалу 5-го семестра

В20. Чем отличаются начальные и граничные условия распределенной системы?

В21. Как условия закрепления влияют на продольный и крутильный спектры?

В22. Какие граничные условия соответствуют шарнирному жесткому и свободному концам балки?

В23. Почему для тонкой балки может быть достаточна модель Эйлера — Бернулли?

В24. Как выбрать допустимую функцию в методе Рэлея и оценить качество результата?

В25. Как отличить нулевую моду жесткого движения от ошибки закрепления конечноэлементной модели?

В26. Как оценить локальную устойчивость по собственным значениям и где эта проверка недостаточна?

В27. Какие фазовые портреты имеют консервативный и вязко демпфированный линейные осцилляторы?

В28. Как кубическая жесткость влияет на частоту и форму амплитудной характеристики?

В29. Почему гармонический баланс сам по себе не доказывает устойчивость найденной ветви?

В30. Чем параметрическое возбуждение отличается от силового и автоколебательного?

В31. Что означает предельный цикл и как возникает ограничение амплитуды автоколебаний?

В32. Как выбор частоты дискретизации окна и длительности записи влияет на спектр?

В33. Чем спектральная плотность мощности отличается от амплитудного спектра?

В34. Как связаны дисбаланс скорость вращения и критическая скорость простейшего ротора?

Тестовые задания

Выберите один ответ. Верный одиночный выбор даёт 1 балл, неверный, пустой или множественный — 0. Полный банк рассчитан на 20 минут. Для раздельных блоков предлагается 13 минут на Т1–Т8 и 7 минут на Т9–Т12. Оба блока фиксируются раздельно.

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 $1/T$.

Блок В Проверка умений

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. Для проверки используйте общую сетку выдачи не реже 0,05 с. Примите предельное расхождение 10^{-4} м по координате при уточнении.

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.

Практические работы

ПР1 Расчет эквивалентных масс и жесткостей

Пункт 1.2 РПД. 2 академических часа. Для поступательной системы с массами 3 и 2 кг скорости равны $\dot{q}$ и $2\dot{q}$. Две пружины по 600 Н/м деформируются на q и $2q$. Найдите параметры по равенству энергий и собственную частоту.

ПР2 Уравнение малых крутильных колебаний

Пункт 1.4 РПД. 2 академических часа. Диск $J = 0{,}08$ кг·м² соединён с неподвижной опорой крутильной пружиной 32 Н·м/рад. Найдите уравнение и частоту. Получите движение для начального угла 0,05 рад и нулевой скорости.

ПР3 Определение параметров свободного затухания

Пункт 1.6 РПД. 2 академических часа. Решите З1. Сопоставьте результат с критическим сопротивлением и проверьте начальные условия.

ПР4 Расчет амплитуды и фазы вынужденных колебаний

Пункт 1.8 РПД. 2 академических часа. Решите З2. Укажите знак запаздывания, статический предел и единицы.

ПР5 Выбор параметров виброизолирующей опоры

Пункт 1.10 РПД. 2 академических часа. Решите З3. Сопоставьте абсолютную передачу для $\zeta = 0{,}10$ и $\zeta = 0{,}20$ при том же r. Предложите критерий выбора опоры с учётом хода и осадки.

ПР6 Отклик на ступень и импульс силы

Пункт 1.12 РПД. 2 академических часа. Решите З8. Для той же системы найдите отклик на ступень 40 Н из покоя. Сопоставьте начальное поведение и максимумы.

ПР7 Собственные частоты и формы двухмассовой системы

Пункт 2.2 РПД. 2 академических часа. Решите З4. Проверьте ортогональность собственных векторов в метрике M и начальные условия.

ПР8 Модальный расчет и настройка гасителя

Пункт 2.4 РПД. 2 академических часа. Для массы 10 кг на пружине 4000 Н/м добавьте гаситель массой 1 кг. Возмущение действует на основную массу с частотой 20 рад/с. Без демпфирования выберите жёсткость гасителя и оцените эффект расстройки частоты на ±10 % по динамической матрице.

ПР9 Численное интегрирование и проверка погрешности

Пункт 2.6 РПД. 2 академических часа. Для З1 сравните численное и аналитическое решения на 0–3 с с шагом выдачи 0,01 с. Повторите расчёт с уточнением шага или допусков. Представьте погрешность и график энергии.

ПР10 Спектр продольных колебаний стержня

Пункт 3.2 РПД. 2 академических часа. Однородный стержень $L = 1$ м, $E = 210$ ГПа, $\rho = 7800$ кг/м³, один конец закреплён, другой свободен. Найдите три первые продольные частоты и формы, укажите граничные условия.

ПР11 Крутильные формы однородного вала

Пункт 3.2 РПД. 2 академических часа. Для однородного круглого вала $L = 1$ м, $G = 80$ ГПа, $\rho = 7800$ кг/м³, концы закреплены. Найдите три частоты малых крутильных колебаний и проверьте нулевые углы на концах.

ПР12 Частоты и формы шарнирно опертой балки

Пункт 3.4 РПД. 2 академических часа. Решите З5. Дополнительно получите вторую частоту и зарисуйте узлы формы.

ПР13 Влияние закреплений на изгибные частоты

Пункт 3.4 РПД. 2 академических часа. Для балки З5 сравните первую частоту шарнирного и консольного закреплений. Для консоли используйте $\beta_1 L = 1{,}8751$. Объясните различие граничных условий.

ПР14 Оценка первой частоты методом Рэлея

Пункт 3.6 РПД. 2 академических часа. Примените к балке З5 пробную форму $x(L-x)$. Найдите частоту по Рэлею и относительное отклонение от З5.

ПР15 Двухпараметрическое приближение Рэлея — Ритца

Пункт 3.6 РПД. 2 академических часа. Для балки З5 задайте $\varphi = a_1 \sin(\pi x/L) + a_2 \sin(2\pi x/L)$. Постройте матрицы Рэлея — Ритца и сравните две частоты с точными значениями.

ПР16 Сходимость частот конечноэлементной модели

Пункт 3.6 РПД. 2 академических часа. Для балки З5 вычислите первую частоту на сетках с 2, 4 и 8 балочными элементами, используя согласованную массу и шарнирные граничные условия. Сравните с З5 и опишите извлечение результата.

ПР17 Фазовые траектории и классификация равновесий

Пункт 4.2 РПД. 2 академических часа. Постройте фазовые траектории линейных осцилляторов $\ddot{x}+x=0$ и $\ddot{x}+0{,}4\dot{x}+x=0$ при $x(0)=1$, $\dot{x}(0)=0$. Классифицируйте равновесия по собственным значениям.

ПР18 Энергетическая проверка устойчивости

Пункт 4.2 РПД. 2 академических часа. Для $\ddot{x}+0{,}4\dot{x}+x=0$ выберите функцию энергии и объясните, как обосновать асимптотическую устойчивость при неположительной производной.

ПР19 Амплитудная зависимость частоты осциллятора Дуффинга

Пункт 4.4 РПД. 2 академических часа. Для уравнения З7 без демпфирования оцените период численно при начальных амплитудах 0,25 и 1 м, обе начальные скорости нулевые. Сравните и проверьте сохранение энергии.

ПР20 Гармонический баланс и ветви отклика

Пункт 4.4 РПД. 2 академических часа. Для вынужденного уравнения $\ddot{x}+0{,}1\dot{x}+x+0{,}2x^3=0{,}1\cos(\Omega t)$ выведите одночастотное амплитудное уравнение. Найдите положительные амплитуды при $\Omega = 1{,}1$ рад/с и обсудите ограничения проверки устойчивости.

ПР21 Параметрическая неустойчивость модели Матье

Пункт 4.6 РПД. 2 академических часа. В модели $\ddot{x}+(1+h\cos \Omega t)x=0$ возьмите $h=0{,}1$ и $\Omega=2$ либо 3 рад/с. Интегрируйте два независимых начальных состояния за период модуляции и сравните модули множителей Флоке.

ПР22 Предельный цикл модели Ван дер Поля

Пункт 4.6 РПД. 2 академических часа. Для $\ddot{x}-0{,}5(1-x^2)\dot{x}+x=0$ сравните фазовые траектории из $x(0)=0{,}1$ и 3, $\dot{x}(0)=0$. Оцените установившуюся амплитуду и проверьте, достаточен ли интервал интегрирования.

ПР23 Дискретизация и спектр вибрационного сигнала

Пункт 5.2 РПД. 2 академических часа. Сформируйте сигнал $\sin(2\pi\cdot 12t)+0{,}4\sin(2\pi\cdot 18{,}5t)$ с $f_s=100$ Гц и длительностью 1 и 4 с. Сравните частотные отсчёты, утечку и влияние окна Ханна. Укажите нормировку амплитуд.

ПР24 Оценка демпфирования и сравнение с расчетом

Пункт 5.2 РПД. 2 академических часа. Решите З6. Покажите чувствительность с к ошибке второго пика ±0,2 мм при неизменных остальных данных.

ПР25 Дисбаланс ротора и критическая скорость

Пункт 5.4 РПД. 2 академических часа. Для простейшего ротора $m=10$ кг, $k=40\,000$ Н/м, $c=60$ Н·с/м, произведение $m_e e=0{,}001$ кг·м. Определите недемпфированную критическую скорость, силу и стационарную амплитуду при $\Omega=\omega_0$.

ПР26 Сравнение вариантов снижения вибрации машины

Пункт 5.4 РПД. 2 академических часа. По модели ПР25 при Ω=ω₀ сравните уменьшение дисбаланса вдвое и удвоение с. Сопоставьте амплитуды и назовите ограничения сравнения.

Рубежные контрольные работы

КР1: З2 и З4. КР2: З5 и З6. Полные условия приведены в блоке В. На каждую работу — 90 минут. Максимум 20 баллов. Разрешён непрограммируемый калькулятор и выданный лист формул. К работам допускаются все обучающиеся независимо от посещаемости и иных результатов.

Блок С Проверка навыков и опыта деятельности

Лабораторные работы 4-го семестра

Каждая работа занимает 3 академических часа. Установку и допустимый режим задаёт преподаватель. Первичные данные и обработка оформляются раздельно. Готовые записи при их предоставлении обозначают как выданные данные. Такой отчёт подтверждает обработку, а навык работы с установкой оценивается по проведённому опыту.

ЛР1 Свободные колебания и эквивалентная жёсткость

Измерьте время не менее пяти периодов и выполните повторения. По заданной или измеренной массе оцените жёсткость. Отдельно обоснуйте пренебрежение затуханием либо используйте поправку.

ЛР2 Логарифмический декремент и сопротивление

Запишите ряд одноимённых пиков, их времена и массу. Найдите декремент по нескольким интервалам, ζ и с. Сравните оценки и укажите вклад шума и ошибки времени.

ЛР3 Амплитудная и фазовая характеристики

Запишите частоту, амплитуды возбуждения и отклика и задержку фазы в нескольких точках до и после максимума. Сопоставьте с линейной моделью и укажите способ ожидания установившегося режима.

ЛР4 Передача вибрации через опору

Измерьте движения основания и массы при одинаковой частоте. Найдите отношение амплитуд абсолютного перемещения. При наличии фаз вычислите относительный ход, а при их отсутствии укажите ограничение.

ЛР5 Собственные частоты связанной системы

Запишите отклики двух масс на доступные начальные воздействия. Определите две частоты, если обе моды возбуждены и различимы. Проверьте относительные фазы и сопоставьте с собственной задачей.

ЛР6 Настройка динамического гасителя

При одинаковом возбуждении сравните отклик основной массы без гасителя, с настроенным гасителем и после допустимой расстройки. Зафиксируйте параметры, проверьте амплитуду и обсудите частотную чувствительность.

Курсовая работа 5-го семестра

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.

Тему и данные утверждает преподаватель. Для других тем задаются геометрия или параметры модели, вид возбуждения, начальные или граничные условия, диапазон исследования и проверяемый результат.

Базовый учебный вариант Виброизоляция оборудования

Оборудование массой 100 кг установлено на упругой опоре с суммарной жёсткостью k и вязким сопротивлением c. Основание совершает гармонические колебания амплитудой 0,5 мм в диапазоне 20–30 Гц. Принять $g = 9{,}81$ м/с². Выберите k и c, чтобы во всём диапазоне коэффициент передачи абсолютного перемещения не превышал 0,20, относительный ход не превышал 0,80 мм, а статическая осадка — 10 мм. Сравните минимум два варианта и оцените влияние изменения массы на ±10 % при неизменной опоре.

Представьте схему, записку с выводом модели, таблицу параметров, графики и воспроизводимый файл. Проверьте аналитические предельные случаи и численные результаты. На защите объясните выбор параметров, ограничения и способ проверки.

Блок D Промежуточная аттестация

Зачёт 4-го семестра

Зачётный билет 1

В7. Как найти демпфирование по амплитудам нескольких пиков?

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.

Зачётный билет 2

В15. Как получить M и K двухмассовой системы и проверить их симметрию?

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.

Зачётный билет 3

В12. Почему увеличение демпфирования по-разному влияет на резонанс и высокочастотную виброизоляцию?

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.

Экзамен 5-го семестра

Экзаменационный билет 1

В3. Как получить приведенные массу и жесткость через выражения энергии?

В22. Какие граничные условия соответствуют шарнирному жесткому и свободному концам балки?

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.

Экзаменационный билет 2

В9. Как получить амплитуду и фазу установившегося отклика при силовом возбуждении?

В26. Как оценить локальную устойчивость по собственным значениям и где эта проверка недостаточна?

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.

Экзаменационный билет 3

В15. Как получить M и K двухмассовой системы и проверить их симметрию?

В30. Чем параметрическое возбуждение отличается от силового и автоколебательного?

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.

Экзаменационный билет 4

В17. При каких предпосылках модальные уравнения расцепляются?

В28. Как кубическая жесткость влияет на частоту и форму амплитудной характеристики?

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.

Экзаменационный билет 5

В12. Почему увеличение демпфирования по-разному влияет на резонанс и высокочастотную виброизоляцию?

В32. Как выбор частоты дискретизации окна и длительности записи влияет на спектр?

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 ωd и период Td. Получить $x(t)$ при $x(0) = 0{,}01$ м и $\dot{x}(0) = 0$. Показать убывание энергии.

Экзаменационный билет 6

В14. Когда применимы интеграл Дюамеля и принцип суперпозиции?

В24. Как выбрать допустимую функцию в методе Рэлея и оценить качество результата?

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.

Экзаменационный билет 7

В7. Как найти демпфирование по амплитудам нескольких пиков?

В31. Что означает предельный цикл и как возникает ограничение амплитуды автоколебаний?

З5 Изгибная частота. Однородная шарнирно опертая балка: $L = 0{,}8$ м, $E = 210 \cdot 10^9$ Па, $\rho = 7800$ кг/м³, площадь $A = 3 \cdot 10^{-4}$ м², момент инерции $I = 1{,}5 \cdot 10^{-8}$ м⁴. По модели Эйлера — Бернулли определить первую частоту f_1. Получить ее же методом Рэлея с $\varphi = \sin(\pi x/L)$; объяснить совпадение.

Экзаменационный билет 8

В18. Чем антирезонанс отличается от резонанса и почему гаситель чувствителен к расстройке?

В33. Чем спектральная плотность мощности отличается от амплитудного спектра?

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.

Экзаменационный билет 9

В19. Как проверять численное интегрирование по аналитическому решению и энергии?

В29. Почему гармонический баланс сам по себе не доказывает устойчивость найденной ветви?

З7. Для уравнения $\ddot{x} + 0{,}1\dot{x} + x + 0{,}2x^3 = 0$ при $x(0) = 1$ м, $\dot{x}(0) = 0$ на 0–100 с составьте систему первого порядка, выведите удельный энергетический баланс и опишите проверку сходимости двух расчётов на общей сетке. Объясните изменение периода. Интегрирование на экзамене не требуется.

Экзаменационный билет 10

В21. Как условия закрепления влияют на продольный и крутильный спектры?

В34. Как связаны дисбаланс скорость вращения и критическая скорость простейшего ротора?

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.

4 Процедуры и критерии оценивания

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.

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.

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.

Преподаватель фиксирует баллы по каждому критерию, выявленную ошибку и проверяемый результат Р1–Р4. При повторном выполнении выдается эквивалентное задание с пересчитанными данными. Исправление отчета сопровождается индивидуальным пояснением; повторная арифметика без объяснения модели не подтверждает освоение. Сроки и число повторных попыток определяются действующим локальным порядком.

При расчётном и лабораторном контроле 0 соответствует отсутствующему или неверному по существу результату, максимум — полному выполнению. Промежуточный балл отражает выполненные элементы критерия.

Экзамен оценивается из 40 баллов. Два вопроса по 10, задача до 20 по удвоенной рубрике задачи. Предлагаемая шкала РПД: 34–40 — отлично, 28–33 — хорошо, 24–27 — удовлетворительно, до 23 — неудовлетворительно. Минимум за каждый вопрос — 5, за задачу — 10. Применение шкалы и минимумов подлежит согласованию.

Подготовка к экзамену по РПД — 60 минут, ответ — до 20 минут. При 0,3 академического часа контактной работы на обучающегося предлагается для согласования до 12 минут устного ответа и подготовка в пределах часов контроля.

Оценивание курсовой работы

РПД предусматривает курсовую работу, но отдельной рубрики её защиты в разделе 5.3 нет. Для согласования предлагается шкала 100 баллов с отдельной записью оценки.

Критерий	Максимум	Свидетельство
Постановка и исходные данные	15	Схема, параметры, допущения и критерий.
Математическая модель	20	Уравнения и условия, корректный выбор метода.
Расчёт и компьютерная реализация	25	Воспроизводимый файл, графики и сравнение вариантов.
Проверка и интерпретация	25	Эталон или сходимость, чувствительность и инженерный вывод.
Защита и оформление	15	Обоснование решений и самостоятельное объяснение.

За полный корректный критерий выставляется максимум. Частичный балл пропорционален выполненным существенным элементам. Ноль — этап отсутствует или принципиально неверен. Предлагаемые границы оценки: 85, 70 и 60 баллов. Результат фиксируется отдельно от экзамена.

5 Методические указания для обучающихся

Блок СРС	Часы	Результаты
1.13, 4-й	36	СР1–СР6. Схемы, приведённые параметры, затухание, возбуждение, изоляция и переходный отклик.
2.7, 4-й	18	СР7–СР9. Формы, настройка гасителя, воспроизводимый расчёт.
3.7, 5-й	24	СР10–СР12. Распределённые модели, балка, приближённые методы.
4.7, 5-й	22	СР13–СР15. Устойчивость, нелинейный отклик, параметрические режимы.
5.5, 5-й	14	СР16–СР17. Спектральная обработка и меры снижения вибрации.

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.

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.

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.

Источники — РПД от 03.09.2026, приложенный тематический план с ФОС и Положение о ФОС КРСУ. Расчётные условия ПР, базовый вариант и рубрика курсовой работы конкретизированы для данного комплекта.