

**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
(подпись)
Лоцев Г.В.
ФИО)

3 сентября ____ 2026 г.

Компьютерный инжиниринг

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 **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 108

в том числе:

аудиторные занятия 48

самостоятельная работа 59,9

Виды контроля в семестрах:

зачет с оценкой 8

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.&b><Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
Неделя	12			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	16	16	16	16
Практические	32	32	32	32
Контактная работа в период теоретического обучения	0,1	0,1	0,1	0,1
В том числе инт.	2	2	2	2
В том числе в форме практ.подготовки	2	2	2	2
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48,1	48,1	48,1	48,1
Сам. работа	59,9	59,9	59,9	59,9
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

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



к.т.н, Джаманкулов Азамат Кенешбекович



Рецензент(ы):

к.ф.-м.н., Комарцов Никита Михайлович



д.т.н, Муслимов Аннас Поясович



Согласовано РОП:

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



Рабочая программа дисциплины

Компьютерный инжиниринг

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 **Вышей 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)

Компьютерный инжиниринг

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

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цель дисциплины – Формирование знаний, умений и навыков в области цифровой инженерии через применение САЕ-систем к анализу электрических и электронных схем. Развитие профессиональных компетенций в выбранном направлении деятельности через моделирование физических процессов с помощью электротехнических аналогий.
1.2	1. Изучить программные пакеты, предназначенные для решения инженерных задач на примере электрических и электронных схем: расчеты, анализ и симуляции физических процессов.
1.3	2. Изучить математические методы для решения различных задач.
1.4	3. Получить опыт разработки проектов простейших схем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ООП:		Б1.В.1
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Информационные технологии и основы информационной безопасности (Модуль: Введение в информационные технологии)	
2.1.2	Б1.В.1.03. Основы автоматизированного проектирования	
2.1.3	Б1.В.1.ДВ.01.01. Использование современного программного комплекса Компас	
2.1.4	Б1.В.1.ДВ.05.01. Детали машин и основы конструирования	
2.1.5	Б1.В.1.ДВ.03.01. Численные методы в прикладной механике	
2.1.6	Б1.В.1.ДВ.04.01. Экспериментальная механика деформируемого твердого тела	
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)

ПК-2: Готовностью выполнять научно-исследовательские работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространённых в промышленности систем мирового уровня и экспериментального оборудования для проведения механических испытаний	
Знать:	
Уровень 1	Знать: ☐ Основные направления и специфику выполнения расчетно-экспериментальных работ с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий в области прикладной механики.
Уровень 2	
Уровень 3	
Уметь:	
Уровень 1	Уметь: ☐ Выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий
Уровень 2	
Уровень 3	
Владеть:	
Уровень 1	Владеть: ☐ методами проведения расчетно-экспериментальных работ в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий
Уровень 2	
Уровень 3	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	способы построения чертежей деталей любой сложности с необходимыми сечениями, в том числе с

3.1.2	использованием компьютерной графики, включая выполнение трехмерных моделей объектов; основные принципы построения систем автоматизированного проектирования, методики разработки моделей объектов проектирования, способы представления графической информации, методологии решения задач оптимизации; основы
3.1.3	технического, лингвистического,
3.2	Уметь:
3.2.1	выполнять чертежи деталей и сборочных единиц в соответствии с требованиями конструкторской документации, в том числе с использованием методов трехмерного моделирования; пользоваться современными средствами технологий и машинной графики.
3.3	Владеть:
3.3.1	инженерной терминологией в области производства подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования; подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования методами
3.3.2	проектирования их узлов и агрегатов, в том числе с использованием трехмерных моделей; методами, алгоритмами и процедурами систем автоматизированного проектирования.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте. ракт.	Пр. подг.	Примечание
	Раздел 1. Модели инженерных объектов и расчёт электрических цепей							
1.1	Компьютерный эксперимент и модели с сосредоточенными параметрами 1. Место схемотехнического моделирования в компьютерном инжиниринге; связь расчёта электрических схем с исследованием механических объектов. 2. Переход от физического объекта к расчётной схеме: переменные, параметры, входы, выходы и границы применимости модели. 3. Резистор, конденсатор, катушка индуктивности и независимые источники; определяющие соотношения и физические единицы. 4. Схема и список соединений SPICE; узел отсчёта, обозначения элементов, направления токов и полярности напряжений. 5. Этапы вычислительного эксперимента: постановка задачи, прогноз результата, расчёт, проверка и инженерный вывод. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.2	Построение схемы резистивной цепи и подготовка списка соединений SPICE. Проверка полярностей, направлений токов и энергетического баланса простой цепи /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1	2		Интерактивный проект

1.3	Узловые уравнения и расчёт установившегося режима 1. Законы Кирхгофа и формирование узловых уравнений линейной резистивной цепи; матрица проводимостей. 2. Учёт источников напряжения в модифицированном узловом методе на простой схеме; смысл дополнительных неизвестных. 3. Нагруженный делитель напряжения как модель измерительного канала; влияние входного сопротивления прибора. 4. Расчёт рабочей точки и сканирование параметра постоянного источника; различие результатов этих режимов. 5. Контроль решения по невязкам узловых уравнений и балансу мощности; диагностика незаданных потенциалов и ошибок соединений. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.4	Ручной и компьютерный расчёт рабочей точки нагруженного делителя напряжения. Составление узловых уравнений двухузловой цепи и сравнение с симулятором /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1		2	Мозговой штурм
1.5	Подготовка словаря переменных и параметров схемной модели инженерного объекта. Самостоятельный расчёт нагруженного делителя и проверка баланса мощности /Ср/	8	14	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 2. Динамика и частотные характеристики							

2.1	Переходные процессы в цепях первого порядка 1. Уравнения RC- и RL-цепей при ступенчатом воздействии; постоянная времени и установившееся значение. 2. Начальные условия: непрерывность напряжения идеального конденсатора и тока идеальной индуктивности при конечных воздействиях. 3. Задание временного сигнала, начального состояния и длительности переходного расчёта в схемном симуляторе. 4. Дискретизация по времени и ограничения максимального шага; проверка сходимости результата при уменьшении шага. 5. Сравнение численного и аналитического решений; время достижения заданного уровня и оценка погрешности. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.2	Расчёт заряда и разряда конденсатора в RC-цепи. Исследование RL-цепи и влияния временного шага на результат /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.3	Цепи второго порядка и частотный анализ 1. Дифференциальное уравнение последовательной RLC-цепи; собственная частота, коэффициент затухания и добротность. 2. Колебательный, критический и апериодический переходные процессы; влияние сопротивления на форму отклика. 3. Комплексное сопротивление и передаточная функция; амплитудная и фазовая характеристики. 4. Различие собственной частоты, частоты затухающих колебаний и частоты максимума выбранной частотной характеристики. 5. Расчёт частотной характеристики и переходного процесса одной схемы; связь полосы пропускания с динамикой измерительного канала. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.4	Исследование режимов затухания последовательной RLC-цепи. Построение амплитудной и фазовой характеристик пассивной цепи /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			

2.5	Вывод аналитических зависимостей для RC- и RL-цепей и подготовка сравнительных графиков. Исследование влияния затухания на переходные и частотные характеристики RLC-цепи. /Ср/	8	16	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 3. Электромеханические аналогии и измерительные схемы							
3.1	Электрические аналогии механических колебательных систем 1. Уравнение системы «масса — демпфер — пружина» при силовом возбуждении; перемещение и скорость как переменные состояния. 2. Аналогия «сила — напряжение»: соответствие силы напряжению, скорости току, массы индуктивности, демпфирования сопротивлению и податливости ёмкости. 3. Масштабные коэффициенты между механическими и электрическими величинами; перенос начальных условий и восстановление механического перемещения. 4. Построение последовательного RLC-аналога одной степени свободы и сравнение его решения с исходным уравнением движения. 5. Аналогия «сила — ток» на уровне сопоставления элементов; различие топологии, ограничения аналогий и недопустимость смешения соответствий. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.2	Построение электрического аналога системы «масса — демпфер — пружина». Сравнение схемного аналога с независимым решением уравнения движения. /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			

3.3	Моделирование простейших электронных узлов измерительного канала 1. Идеальная и кусочно-линейная модели диода; выбор модели по требуемой точности и области применения. 2. Рабочая точка нелинейной схемы и малосигнальная линеаризация; почему частотный анализ не описывает произвольный большой сигнал. 3. Неинвертирующий усилитель на операционном усилителе с отрицательной обратной связью; расчёт коэффициента усиления. 4. Ограничения реального усилителя: питание, диапазон входных напряжений, полоса и скорость нарастания; чтение технического описания и SPICE-модели. 5. Простой канал сигнала датчика перемещения или вибрации: эквивалент источника, входная нагрузка, усиление и RC-фильтрация. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.4	Расчёт рабочей точки простейшей диодной цепи при разных моделях диода. Моделирование неинвертирующего усилителя и ограничения выходного сигнала. /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
3.5	Построение таблицы электромеханических соответствий с масштабными коэффициентами. Изучение модели усилителя и подготовка расчёта простого измерительного канала. /Ср/	8	16	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 4. Параметрические исследования и достоверность расчёта							

4.1	Подбор параметров и анализ чувствительности модели 1. Формулирование требований к фильтру измерительного канала: частота среза, коэффициент передачи и допустимая нагрузка. 2. Параметрический перебор номиналов и выбор решения по заданному критерию; ограничения параметров. 3. Чувствительность частоты среза и времени установления к изменению параметров; нормированная оценка чувствительности. 4. Допуски компонентов, предельные сочетания параметров и различие гарантированной границы и вероятностной оценки. 5. План вычислительного эксперимента: фиксируемые величины, диапазоны изменения, таблица серий расчётов и интерпретация результатов. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.2	Подбор номиналов RC-фильтра по заданной частоте среза. Исследование чувствительности RC-фильтра к допускам компонентов. /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.3	Верификация модели и представление результатов инженерного исследования 1. Различие верификации вычислений и валидации физической модели; аналитический эталон, независимый расчёт и экспериментальные данные. 2. Разделение ошибки схемы, ошибки численного решения и неопределённости исходных параметров. 3. Оценка влияния временного шага, диапазона частот и параметров решателя; проверка предельных режимов. 4. Сопоставление расчёта с измерениями при наличии данных; происхождение данных, условия измерения и ограничения выводов. 5. Состав воспроизводимого проекта: схема, модели элементов, версии программ, параметры анализа, исходные таблицы, графики и инженерное заключение. /Лек/	8	2	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			

4.4	Верификация модели измерительного канала по аналитическим и численным данным. Представление и защита воспроизводимого проекта вычислительного исследования. /Пр/	8	4	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.5	Подготовка серии расчётов фильтра с изменением номиналов и допусков. Оформление проекта, проверка воспроизводимости и подготовка к промежуточной аттестации. /Ср/	8	13,9	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.6	Консультация и проведение зачета /КрТО/	8	0,1	ПК-2	Л1.1Л2.1Л3.1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Контрольные вопросы и задания

Контрольные вопросы и задания для текущего контроля и промежуточной аттестации
Вопросы В1–В32 используются для текущего опроса и при комплектовании билетов. Задания З1–З8 служат для текущих расчётных работ и промежуточной аттестации. Подробные ориентиры решений помещены в ФОС.

Тема лекции 1

В1. Чем физический объект отличается от его расчётной схемы и математической модели?

В2. Когда допустима модель с сосредоточенными параметрами и какие эффекты она не учитывает?

В3. Для чего в SPICE задают узел отсчёта и как выбирают направления токов?

В4. Какие исходные данные нужны для воспроизводимого вычислительного эксперимента?

Тема лекции 2

В5. Как по законам Кирхгофа составить узловые уравнения резистивной цепи?

В6. Почему в модифицированном узловом методе для идеального источника напряжения вводят дополнительную неизвестную?

В7. Как конечное входное сопротивление прибора изменяет выход делителя?

В8. Как проверить рабочую точку по балансу мощности и невязкам уравнений?

Тема лекции 3

В9. Как вывести переходную характеристику RC-цепи и определить её постоянную времени?

В10. Какие начальные условия задаются для конденсатора и индуктивности?

В11. Как выбрать длительность переходного расчёта и проверить достаточность временного разрешения?

В12. Как отличить ошибку задания начальных условий от ошибки временной дискретизации?

Тема лекции 4

В13. Как связаны параметры последовательной RLC-цепи с собственной частотой и затуханием?

В14. При каких условиях переходный процесс является колебательным, критическим или апериодическим?

В15. Чем собственная частота отличается от частоты затухающих колебаний и резонансного пика?

В16. Почему частотная характеристика зависит от выбора входа и выхода схемы?

Тема лекции 5

В17. Как получить последовательный RLC-аналог системы «масса — демпфер — пружина» в аналогии «сила — напряжение»?

В18. Для чего вводятся масштабные коэффициенты и как переносятся начальные условия?

В19. Чем аналогия «сила — ток» отличается от аналогии «сила — напряжение»?

В20. Как восстановить перемещение и скорость механического объекта из электрического решения?

Тема лекции 6

В21. Чем идеальная, кусочно-линейная и SPICE-модели диода отличаются по допущениям?

В22. Как рабочая точка используется при малосигнальном анализе нелинейной схемы?

В23. Как определить коэффициент усиления неинвертирующего усилителя и границы линейного режима?

В24. Какие параметры реального усилителя и датчика нужно учитывать при расчёте измерительного канала?

Тема лекции 7

В25. Как по требуемой частоте среза выбрать параметры RC-фильтра?

В26. Как оценить нормированную чувствительность выходной характеристики к параметру?

В27. Как найти предельные значения частоты среза при допусках R и C?

В28. Чем параметрический перебор отличается от вероятностного анализа допусков?

Тема лекции 8

В29. Чем верификация отличается от валидации модели?

В30. Почему совпадение двух численных расчётов само по себе не доказывает физическую адекватность модели?

В31. Как оценить погрешность при нулевых или малых эталонных значениях?

В32. Какие файлы, параметры и сведения об источниках данных входят в воспроизводимый отчёт?

Расчётные и компьютерные задания

З1 Нагруженный делитель напряжения

Идеальный источник $U = 12$ В питает последовательные $R_1 = 2$ кОм и $R_2 = 4$ кОм. Выход снимается с R_2 . Параллельно R_2 подключена нагрузка $RL = 4$ кОм. Найти выходное напряжение без нагрузки и с нагрузкой, ток источника и мощности всех резисторов под нагрузкой. Выполнить расчёт рабочей точки и проверить баланс мощности.

32 Переходный процесс RC-цепи

Последовательная RC-цепь: $R = 1$ кОм, $C = 100$ мкФ. При $t = 0$ на вход подаётся идеальная ступень $0 \rightarrow 10$ В, $u_C(0-) = 0$. Найти постоянную времени, u_C при $t = 0,1$ с и время достижения 90 % установившегося напряжения. Построить отклик на интервале 0–0,5 с. Повторить расчёт с ограничениями максимального шага 5 и 2,5 мс.

33 Динамика последовательной RLC-цепи

Даны $R = 20$ Ом, $L = 0,1$ Гн, $C = 100$ мкФ. Вход — ступень напряжения $0 \rightarrow 1$ В, выход — напряжение конденсатора; начальные ток и напряжение конденсатора равны нулю. Найти собственную угловую частоту, коэффициент затухания ζ , добротность Q и частоту затухающих колебаний. Указать вид процесса и значение R для критического затухания.

34 Электрический аналог механической системы

Для $m = 2$ кг, $c = 8$ Н·с/м, $k = 200$ Н/м действует ступенчатая сила 10 Н. Начальные условия $x(0) = 0$, $v(0) = 0$. Построить аналог «сила — напряжение». Принять $U = aF \cdot F$ и $I = av \cdot v$, где $aF = 1$ В/Н, $av = 1$ А·с/м. Найти электрические параметры, статическое перемещение и ζ . Сравнить $x(t)$ с решением $m x'' + c x' + k x = F(t)$.

35 Усилитель измерительного сигнала

Идеальный неинвертирующий усилитель имеет $R_g = 1$ кОм между инвертирующим входом и общим узлом и $R_f = 10$ кОм в обратной связи. Питание ± 5 В. В учебной модели линейный выход жёстко ограничивается уровнями ± 5 В. Найти выход при входных напряжениях 0,2 и 0,8 В и максимальную амплитуду симметричного входа без ограничения. Объяснить, почему для реального усилителя нужна его документация.

36 Проектирование RC-фильтра

Для ненагруженного RC-фильтра нижних частот с выходом на конденсаторе требуется $f_c = 100$ Гц. $C = 1$ мкФ. Рассчитать R , затем принять $R = 1,6$ кОм. Для принятого значения найти фактическую f_c и модуль передачи при 10 и 1000 Гц. Источник идеальный; входное сопротивление следующего каскада бесконечно.

37 Допуски и чувствительность фильтра

Для фильтра из 36 принять $R = 1,6$ кОм ± 5 %, $C = 1$ мкФ ± 10 %. Найти гарантированный диапазон частоты среза при независимом изменении компонентов в заданных пределах и нормированные чувствительности f_c к R и C . Проверить четыре угловых сочетания параметров. Вероятностные распределения не заданы.

38 Верификация численного результата

Для задачи 32 получены значения $u_C(0,1$ с): 6,30 В при ограничении шага h и 6,32 В при ограничении $h/2$. Сравнить оба результата с аналитическим эталоном $10(1 - \exp(-1))$ В. Вычислить абсолютные и относительные ошибки в этой точке и изменение результата при уменьшении шага. Объяснить, каких данных не хватает для вывода о точности всей кривой и валидации.

Задание для учебного мини-проекта

Выбрать один из двух вариантов. Использовать результаты практических и самостоятельных работ; отдельный дополнительный объём часов не вводится. Проектирование физического устройства и изготовление макета не требуются. Вариант А. Электрический аналог механической системы. На основе 34 построить схемную модель, исследовать $c = 4, 8$ и 16 Н·с/м при неизменных m и k . Получить $x(t)$, скорость, статическое перемещение и затухание. Для одного режима выполнить независимое численное решение уравнения движения и оценить различие результатов.

Вариант Б. Измерительный канал. Вход — идеальный источник $0,2 \cdot \sin(2\pi \cdot 10t) + 0,02 \cdot \sin(2\pi \cdot 1000t)$ В. После ненагруженного RC-фильтра с $R = 1,6$ кОм, $C = 1$ мкФ установлен идеальный неинвертирующий усилитель $K = 11$ с учебным ограничением ± 5 В. Оценить передачу полезной и помеховой составляющих, запас до ограничения и влияние допусков R и C из 37. Входное сопротивление усилителя считать бесконечным.

5.2. Темы курсовых работ (проектов)

Курсовые работы не предусмотрены

5.3. Фонд оценочных средств

Организация текущего контроля

После каждой пары практических работ проводится краткий опрос по соответствующей теме и проверка редактируемой модели. Полные расчётные отчёты оформляются по четырём блокам: практические 1–4, 5–8, 9–12 и 13–16. Остальные работы включаются в эти отчёты как приложения с исходными данными и результатами.

В течение курса выполняются два тестирования по 8 заданий: Т1–Т8 и Т9–Т16. В каждом вопросе один правильный ответ. Рекомендуемое время — 10–15 минут на блок. Итоги двух блоков суммируются; повторная попытка проводится после разбора ошибок на равноценном варианте.

Расчётные задания и мини-проект выполняются с доступом к официальной документации. На защите студент поясняет уравнения и самостоятельно изменяет один параметр модели. Совместная подготовка не заменяет индивидуальную проверку.

Тестовые задания

Т1. Для чего необходим узел отсчёта в узловых моделях?

А) Для задания нулевого потенциала; Б) Для обнуления всех токов; В) Для замены источника питания.

Т2. Какая величина является дополнительной неизвестной при включении идеального источника напряжения в модифицированную узловую модель?

А) Ёмкость источника; Б) Ток через источник; В) Частота сети.

Т3. Что обычно происходит с выходным напряжением пассивного делителя при подключении конечного сопротивления нагрузки к его нижнему плечу?

А) Возрастает; Б) Не изменяется при любой нагрузке; В) Уменьшается.

Т4. Чему равна постоянная времени последовательной RC-цепи с выходом на конденсаторе?

А) R/C ; Б) RC ; В) C/R .

T5. Что не может скачком измениться на идеальном конденсаторе при конечном токе?

A) Напряжение; Б) Мощность; В) Производная напряжения.

T6. Какой анализ непосредственно даёт временной отклик на ступень?

A) Расчёт рабочей точки; Б) Частотный анализ; В) Переходный анализ.

T7. Какой режим соответствует $0 < \zeta < 1$ у устойчивой системы второго порядка?

A) Критический; Б) Колебательный затухающий; В) Неустойчивый при любом входе.

T8. Какой элемент соответствует массе в аналогии «сила — напряжение»?

A) Индуктивность; Б) Сопротивление; В) Ёмкость.

T9. Какой электрической величине соответствует механическая скорость в аналогии «сила — напряжение»?

A) Заряду; Б) Напряжению; В) Току.

T10. Что необходимо для переноса результата электрического аналога в механические единицы?

A) Только изображение схемы; Б) Масштабные коэффициенты и соответствие переменных; В) Название программы.

T11. Какой режим описывает стандартный АС-анализ нелинейной схемы?

A) Малосигнальный режим около рабочей точки; Б) Любой большой сигнал; В) Только разомкнутую цепь.

T12. Чему равен коэффициент идеального неинвертирующего усилителя с отрицательной обратной связью?

A) $-R_f/R_g$; Б) R_g/R_f ; В) $1 + R_f/R_g$.

T13. Как изменится f_c ненагруженного RC-фильтра при удвоении C и неизменном R ?

A) Удвоится; Б) Уменьшится вдвое; В) Не изменится.

T14. Чему равна нормированная чувствительность $f_c = 1/(2\pi RC)$ к R ?

A) -1 ; Б) 0 ; В) $+1$.

T15. Что служит проверкой физической адекватности модели?

A) Увеличение числа знаков после запятой; Б) Повторный запуск той же модели; В) Сопоставление с независимыми измерениями с учётом их неопределённости.

T16. Что позволяет оценить уменьшение максимального временного шага при прочих равных условиях?

A) Автоматически доказать истинность модели; Б) Влияние временной дискретизации на выбранные результаты; В) Получить реальные экспериментальные данные.

Ключ к тесту

Задания Правильные ответы

T1–T8 1 — А; 2 — Б; 3 — В; 4 — Б; 5 — А; 6 — В; 7 — Б; 8 — А

T9–T16 9 — В; 10 — Б; 11 — А; 12 — В; 13 — Б; 14 — А; 15 — В; 16 — Б

За правильный ответ начисляется 1 балл, за неправильный или отсутствующий — 0. Максимум 16 баллов. Предлагаемые уровни: 14–16 — высокий, 11–13 — достаточный, 8–10 — пороговый, 0–7 — ниже порогового. Результат теста не заменяет оценку практического выполнения расчёта.

Ориентиры решений и проверки расчётных заданий

31 Нагруженный делитель напряжения

Без нагрузки $U_{\text{вых}} = 8$ В. При нагрузке $R_2 \parallel R_L = 2$ кОм, $U_{\text{вых}} = 6$ В, $I_{\text{ист}} = 3$ мА; токи R_2 и R_L равны 1,5 мА. $P(R_1) = 18$ мВт, $P(R_2) = P(R_L) = 9$ мВт; источник отдаёт 36 мВт. Снижение выхода относительно ненагруженного значения составляет 25 %.

32 Переходный процесс RC-цепи

$\tau = RC = 0,1$ с; $u_C(t) = 10[1 - \exp(-t/0,1)]$ В; $u_C(0,1) \approx 6,321$ В; $t_{90} = \tau \ln(10) \approx 0,23026$ с. Максимальный шаг не равен фактическому адаптивному шагу. Сравнение сеток проводят на общих моментах времени.

33 Динамика последовательной RLC-цепи

$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \approx 316,228$ рад/с; $f_0 \approx 50,329$ Гц; $\zeta = (R/2)\sqrt{C/L} \approx 0,31623$; $Q = 1/(2\zeta) \approx 1,58114$. $\omega_d = \omega_0\sqrt{1-\zeta^2} = 300$ рад/с, $f_d \approx 47,746$ Гц. Процесс колебательный. $R_{\text{кр}} = 2\sqrt{L/C} \approx 63,246$ Ом. Частота максимума $|U_C/U_{\text{вх}}|$ при данных параметрах равна $\omega_0\sqrt{1-2\zeta^2} \approx 282,843$ рад/с, а не ω_0 .

34 Электрический аналог механической системы

$L = (aF/av)m = 2$ Гн; $R = (aF/av)c = 8$ Ом; $C = av/(aF k) = 0,005$ Ф; источник — ступень 10 В. При согласованных начальных условиях $q = av x$ и $I = av v$, поэтому $x = C \cdot U_C/av$. хуст = $F/k = 0,05$ м; $\omega_0 = \sqrt{k/m} = 10$ рад/с; $\zeta = c/(2\sqrt{km}) = 0,2$. Единицы механических и электрических параметров не отождествляются.

35 Усилитель измерительного сигнала

$K = 1 + R_f/R_g = 11$. Для 0,2 В выход равен 2,2 В; для 0,8 В линейный расчёт даёт 8,8 В, но заданная модель ограничивает выход до +5 В. Предельная амплитуда входа равна $5/11 \approx 0,45455$ В; для гарантированного отсутствия ограничения выбирают меньшее значение. У реального прибора выход может не достигать шин питания; учитываются также допустимые входы, полоса, нагрузка и скорость нарастания.

36 Проектирование RC-фильтра

$R = 1/(2\pi f_c C) \approx 1591,55$ Ом. При $R = 1600$ Ом $f_c \approx 99,472$ Гц; $|H(f)| = 1/\sqrt{1+(f/f_c)^2}$. При 10 Гц $|H| \approx 0,99498$, при 1000 Гц $\approx 0,09898$. Принятый номинал даёт отклонение f_c около $-0,528$ %.

37 Допуски и чувствительность фильтра

$S_R = (R/f_c) \cdot \partial f_c / \partial R = -1$; $S_C = -1$. $f_{c,\text{ном}} = f_{c,\text{ном}}/(1,05 \cdot 1,10) \approx 86,123$ Гц; $f_{c,\text{max}} = f_{c,\text{ном}}/(0,95 \cdot 0,90) \approx 116,341$ Гц. Оценка ± 15 % является лишь линейным приближением; точные пределы несимметричны. Вероятность попадания в диапазон без распределений не рассчитывается.

38 Верификация численного результата

Эталон $\approx 6,3212056$ В. Ошибки: 0,0212056 В и 0,0012056 В; относительные ошибки $\approx 0,33547$ % и 0,01907 %. Изменение результатов равно 0,02 В. Для всей кривой нужны значения на согласованных моментах времени и нормы ошибки; для валидации — независимые физические измерения с условиями и неопределённостью. Порядок метода по двум таким результатам без дополнительных допущений не устанавливается.

Ориентир для мини-проекта Б: амплитуды после фильтра и усилителя составляют приблизительно $0,2 \cdot 0,99498 \cdot 11 = 2,189$ В для полезного сигнала и $0,02 \cdot 0,09898 \cdot 11 = 0,02178$ В для помехи. Сумма амплитуд менее 2,211 В и даёт достаточное

условие отсутствия ограничения в принятой модели ± 5 В. Реальную микросхему по этому выводу выбирать без её документации нельзя.

Промежуточная аттестация

Предлагаемый формат — комплексная индивидуальная проверка: два теоретических вопроса и одно расчётно-компьютерное задание. Он может быть использован при зачёте либо экзамене после установления формы аттестации.

Текущие оценки автоматически в итоговую оценку не переносятся; порядок их учёта определяется локальными правилами.

Рекомендуемое время — 60 минут на подготовку и расчёт, затем 10 минут на защиту. Студент получает полное условие задания, справку по синтаксису программы и значения параметров. Теоретическая часть выполняется без готовых ответов; при компьютерной работе разрешена официальная документация. Это предлагаемая организация, которую кафедра может изменить.

Единое расчётно-компьютерное задание А. Для системы $m x'' + c x' + k x = F_0 \cdot 1(t)$, $x(0) = 0$, $x'(0) = 0$ построить электрический аналог «сила — напряжение» при масштабах $aF = 1$ В/Н и $av = 1$ А·с/м. Рассчитать L , R , C , собственную частоту, ζ и статическое перемещение. Получить $x(t)$ на интервале 0–3 с, сопоставить его с независимым аналитическим решением в точках 0,2; 0,5 и 1 с. Повторить расчёт с вдвое меньшим максимальным шагом, оценить изменение результата. Начальный максимальный шаг — 0,01 с. Указать границы физической применимости модели.

№ Вопросы m кг c Н·с/м k Н/м F_0 Н

1 В1, В30 1 4 100 5

2 В5, В11 2 12 200 10

3 В13, В16 3 24 300 15

4 В17, В20 4 40 400 20

5 В21, В23 1 6 100 10

6 В24, В25 2 16 200 20

7 В26, В27 3 30 300 30

8 В29, В32 4 16 400 40

Билеты используют полные формулировки вопросов из банка и единое задание А с различными параметрами. Объём операций и критерии компьютерной части одинаковы. 31–38 остаются банком текущих работ и подготовки к аттестации. На защите студент показывает редактируемый файл и поясняет полученный отклик.

Ориентиры решения задания А

$L = (aF/av)m$; $R = (aF/av)c$; $C = av/(aF k)$. Для заданных численных масштабов численные значения L в генри и R в омах совпадают соответственно с m и c , а C в фарадах равно $1/k$; это следствие выбранного масштабирования. Во всех вариантах $\omega_0 = 10$ рад/с, $f_0 \approx 1,59155$ Гц. Перемещение восстанавливается как $x = C \cdot UC/av$.

Вариант ζ хуст m C F

1 0,2 0,05 0,010000

2 0,3 0,05 0,005000

3 0,4 0,05 0,003333

4 0,5 0,05 0,002500

5 0,3 0,1 0,010000

6 0,4 0,1 0,005000

7 0,5 0,1 0,003333

8 0,2 0,1 0,002500

Аналитический эталон при $0 < \zeta < 1$: $x(t) = (F_0/k) \{1 - \exp(-\zeta \omega_0 t) [\cos(\omega_d t) + \zeta \sin(\omega_d t) / \sqrt{1 - \zeta^2}]\}$, где $\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}$. Для сравнения использовать абсолютную ошибку и ошибку, нормированную на F_0/k . Ориентир точности учебного расчёта — не более 1 % от статического перемещения в контрольных точках; превышение требует анализа настроек или модели. Этот ориентир не является гарантией точности произвольной физической модели.

Критерии оценивания текущих работ

Критерий отчёта по блоку практических работ Баллы

Постановка задачи, схема, допущения и единицы 0–2

Правильные уравнения и исходные параметры 0–2

Работоспособная модель и корректный расчётный режим 0–2

Независимая проверка и оценка расхождений 0–2

Интерпретация результата и воспроизводимые материалы 0–2

Для каждого критерия: 2 балла — выполнен правильно и пояснён; 1 — выполнен частично, имеются локальные ошибки, не меняющие основной вывод; 0 — отсутствует либо содержит принципиальную ошибку. Максимум за блок — 10 баллов.

Уровни: 9–10 — высокий, 7–8 — достаточный, 5–6 — пороговый, 0–4 — ниже порогового. Неработоспособная модель или отсутствие её файла требуют доработки независимо от суммы.

Критерий расчётного задания Баллы

Физическая схема и допущения 0–2

Уравнения, преобразования и единицы 0–3

Численный результат и расчётный файл 0–3

Проверка и вывод 0–2

Для критериев с максимумом 2 применяются правила выше; с максимумом 3: 3 — полное корректное выполнение, 2 — верный подход с одной локальной ошибкой, 1 — отдельные правильные шаги без завершённого решения, 0 — корректные шаги отсутствуют. Максимум 10 баллов; уровни 9–10, 7–8, 5–6 и 0–4. Вывод, основанный на неверной физической схеме, должен быть исправлен до зачёта задания.

Критерий мини-проекта Баллы

Постановка задачи и обоснование допущений 0–4

Математическая и компьютерная модели 0–4

Серия расчётов и анализ параметров 0–4

Верификация и границы выводов 0–4
 Воспроизводимость и индивидуальная защита 0–4
 Каждый критерий: 4 — выполнен полно и обоснованно; 3 — выполнен с небольшими недочётами; 2 — выполнен частично при верном основном подходе; 1 — представлен фрагментарно; 0 — отсутствует или принципиально неверен. Максимум 20 баллов. Уровни: 17–20 — высокий, 13–16 — достаточный, 10–12 — пороговый, 0–9 — ниже порогового. Для положительного результата обязательны работоспособная модель, хотя бы одна количественная проверка и самостоятельное объяснение результата.

Критерии промежуточной аттестации
 Компонент Баллы Распределение баллов
 Два теоретических ответа 20 По 10: корректность понятий и связей 0–4; уравнения и допущения 0–4; инженерный пример 0–2
 Расчётно-компьютерное задание 30 Схема и исходные данные 0–6; метод и уравнения 0–6; расчёт и файл 0–10; проверка и интерпретация 0–8
 В компонентах с максимумом 4, 6, 8 или 10 назначается полный балл за полное корректное выполнение, 75 % максимума — за верное выполнение с небольшими недочётами, 50 % — за частичное выполнение при верном подходе, 25 % — за отдельные правильные фрагменты, 0 — за отсутствие или принципиальную ошибку. Дробные баллы сохраняются до суммирования, сумма округляется до ближайшего целого вверх при половине балла. Для компонента 0–2: 2 — корректно, 1 — частично, 0 — отсутствует или неверно.

Предлагаемый перевод суммы 0–50: 43–50 — «отлично»; 33–42 — «хорошо»; 25–32 — «удовлетворительно»; 0–24 — «неудовлетворительно». Если учебным планом установлен зачёт: «зачтено» при сумме от 25 и выполнении обязательных условий; иначе «не зачтено».

Обязательные условия положительной оценки: не менее 8 из 20 баллов за теорию и 15 из 30 за расчётно-компьютерную часть; схема соответствует условию; ключевые результаты проверены; студент может объяснить своё решение. Принципиально неверная схема, несогласованная электрохимическая аналогия или отсутствие самостоятельного объяснения блокируют положительную оценку до исправления. Балльные пороги не заменяют эти условия.

Требования к представлению результатов
 Отчёт содержит условие и вариант, допущения, обозначения с единицами, уравнения, расчётную схему, параметры анализа, результаты, независимую проверку, оценку ошибки и выводы. К отчёту прилагаются редактируемая схема или netlist, используемые модели элементов, численные таблицы и код независимого расчёта при его наличии. Скриншот графика без исходного проекта недостаточен.

На графиках указываются переменные, единицы и легенда; для сравнений используются одинаковые масштабы осей. Величины сравниваются после перевода в согласованные единицы. Ошибка нормируется на явно указанную величину; вблизи нуля применяют абсолютную ошибку либо заранее заданный ненулевой масштаб.

В ведомости фиксируются вид работы, вариант, баллы по критериям, обязательные условия, замечания и результат доработки. Пересдача проверяет те же действия на изменённых числовых данных; правила допуска и сроки определяются вузом. Для обучающихся, которым требуется адаптация условий, порядок и технические средства согласуются по действующим локальным документам без изменения проверяемого результата.

5.4. Перечень видов оценочных средств

1. Устный опрос по понятиям, допущениям моделей и интерпретации результатов.
2. Тестирование по расчётным режимам, динамике цепей и электрохимическим соответствиям.
3. Расчётные задания с аналитической проверкой и оценкой погрешности.
4. Практические работы в схемном симуляторе с представлением редактируемых файлов модели.
5. Отчёты о самостоятельных вычислительных исследованиях и анализе параметров.
6. Индивидуальный учебный мини-проект по электрическому аналогу механической системы или измерительному каналу и его защита.
7. Комплексное задание промежуточной аттестации: теоретические вопросы, расчёт и проверка компьютерной модели.

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

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Румянцев В., Болобанова Н.	Компьютерный инжиниринг	

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Грейвс М.	Проектирование баз данных на основе XML: пер. с англ.	М.: Издательский дом "Вильямс" 2002

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Лопухина Е.М., Семенчуков Г. А.	Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности: учебное пособие	М.: Высш. шк. 2002

6.3. Перечень информационных и образовательных технологий	
6.3.1 Компетентностно-ориентированные образовательные технологии	
6.3.1.1	1 LTspice
6.3.1.2	Схемотехническое моделирование, расчёт рабочей точки, переходных процессов и частотных характеристик; построение электрических аналогов. Бесплатно распространяется разработчиком. Официальная страница и учебные материалы:
6.3.1.3	2 KiCad со встроенным ngspice
6.3.1.4	Альтернативная открытая среда подготовки схем и выполнения SPICE-анализа. Для курса используется схемный редактор и симулятор; проектирование печатных плат не включается.
6.3.1.5	3 Python с NumPy SciPy и Matplotlib
6.3.1.6	Независимое решение уравнений движения, обработка таблиц, оценка погрешности и построение графиков. Для динамики применим scipy.integrate, для линейных систем и частотных характеристик — scipy.signal.
6.3.1.7	4 MATLAB Simulink и Simscape
6.3.1.8	Дополнительный вариант многодоменного моделирования механических и электрических систем при наличии соответствующих лицензий. Не является обязательным условием выполнения курса; основные задания доступны в выбранном SPICE-симуляторе и Python.
6.3.2 Перечень информационных справочных систем и программного обеспечения	
6.3.2.1	Научные базы и каталоги
6.3.2.2	1. OpenAlex — открытый каталог научных работ для поиска исследований по схемному моделированию, электромеханическим аналогиям и проверке вычислительных моделей. Адрес: https://openalex.org/ . Полные тексты ищутся у издателя или в репозитории; наличие записи не означает открытого доступа к статье.
6.3.2.3	2. IEEE Xplore — специализированная цифровая библиотека по электротехнике, электронике, измерительным системам и вычислительным технологиям. Адрес: https://ieeexplore.ieee.org/ . Доступ к конкретному полному тексту определяется условиями издателя и подпиской; подписка КРСУ не подтверждена. Автоматическая проверка содержимого сайта при подготовке материалов была ограничена.
6.3.2.4	Профессиональные справочные ресурсы
6.3.2.5	3. Официальная документация ngspice — справочник по моделям элементов, netlist, режимам анализа и настройкам расчёта. https://ngspice.sourceforge.io/docs.html .
6.3.2.6	4. Документация и учебные материалы LTspice компании Analog Devices — схемы примеров, справка по анализу и модели компонентов. https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html .
6.3.2.7	5. SciPy Reference Guide — справочник по численному интегрированию и анализу линейных динамических систем. https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/ .
6.3.2.8	6. MathWorks Help Center — справочная система по механическим и электрическим моделям Simscape. https://www.mathworks.com/help/simscape/ . Используется при выборе соответствующего программного варианта.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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

Подготовка к изучению курса

Повторите законы Кирхгофа, комплексные числа, линейные дифференциальные уравнения первого и второго порядка и уравнение движения одномассовой системы. Проверьте, что понимаете различие силы, перемещения и скорости, тока, напряжения и заряда. До начала расчётов выберите согласованную систему единиц.

Работа с лекционным материалом

Для каждой темы ведите краткую запись: физическая задача, схема, определяющие уравнения, допущения, измеряемый результат и способ проверки. Выписывайте не только формулы, но и условия их применимости. После лекции ответьте на четыре соответствующих вопроса банка и сформулируйте один пример из механики или измерительной техники.

Подготовка к практической работе

Прочитайте условие, обозначьте вход и выход и выполните приближённую оценку результата до запуска программы.

Сохраните исходные параметры в таблице. Проверьте единицы и буквенные суффиксы SPICE: например, запись m обычно означает милли, а для мега используется meg; точный синтаксис сверяйте с документацией выбранного симулятора.

Построение и запуск модели

Задайте узел отсчёта, номиналы, источники и начальные условия. Выберите режим по задаче: рабочая точка для установившегося режима, переходный анализ для временного процесса, АС-анализ для малосигнальной частотной характеристики. Сначала проверьте простую модель, затем добавляйте усложнения по одному. Сообщения о несходимости сохраняйте и разбирайте по причине.

Исследование динамики

Длительность расчёта связывайте с постоянными времени и периодами исследуемых процессов. Повторите расчёт с меньшим максимальным шагом; сравнивайте значения в общих моментах времени. Не принимайте гладкий график за доказательство точности. Начальные состояния должны соответствовать условию, а не только настройкам программы по умолчанию.

Применение механических аналогий

Запишите механическое уравнение, выберите одну аналогию и явно задайте масштабы между доменами. Составьте таблицу соответствий переменных и элементов; отдельно перенесите начальные условия. Полученный ток или напряжение переведите обратно в механическую величину. Проверьте статическое перемещение и хотя бы одну динамическую характеристику.

Организация самостоятельной работы

Работайте по восьми темам распределения 59,9 часа. После каждой пары практических сохраняйте схему и таблицу результатов в папке соответствующей темы. Ведите журнал изменений: изменённый параметр, цель изменения и наблюдаемый эффект. Для мини-проекта используйте уже подготовленные модели, углубляя проверку и интерпретацию.

Проверка результатов

Для резистивной схемы проверяйте законы Кирхгофа и баланс мощности; для динамики — аналитические предельные значения и начальные состояния; для аналога — совпадение уравнений после масштабирования. Сравнение двух программ является независимой вычислительной проверкой, но не заменяет сопоставления с реальным объектом. Данные из симулятора называйте расчётными.

Оформление и сохранение проекта

Сохраняйте редактируемые файлы, модели компонентов, таблицы и отчёт вместе. Укажите название и версию программы, дату расчёта, выбранные режимы и источники моделей. Таблицы и графики должны позволять повторить вывод. Для заимствованных параметров и моделей давайте ссылку; при отсутствии измерений прямо ограничивайте заключение результатами расчёта.

Подготовка к промежуточной аттестации

Пройдите банк В1–В32, решите 31–38 и проверьте себя по ориентирам решений. Затем повторите решение без просмотра ответов. Подготовьтесь объяснить выбор модели и расчётного режима, причины расхождения с эталоном и влияние одного изменённого параметра. Форму аттестации и правила допуска уточните у преподавателя по утверждённой программе.