

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Динамические системы
по направлению:	Системный анализ и управление
профиль подготовки:	Системный анализ и управление в технических, экономических и социальных системах Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической механики
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: В.А. Козьминых, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической механики 08.04.2021

Аннотация

Курс посвящен изучению основ методов анализа, используемых в механике, теории управления и теории динамических систем. Основная цель курса состоит в том, чтобы на примере классических механических и динамических систем опробовать методы, позволяющие определить наличие или отсутствие в системах тех или иных свойств и эффектов, таких как наличие периодических траекторий, бифуркаций, хаоса. Выделяются весьма важные понятия, такие как устойчивость, робатность, оптимальность. При этом студенты должны узнать, откуда и как возникли эти понятия и методы, когда и где можно их применять. В курсе большое внимание уделяется истории развития механики, теории управления, динамических систем. Устанавливается сущностная связь между перечисленными категориями.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью курса является формирование базовых знаний и профессиональных компетенций

- в основах теории динамических систем и умении применять эту теорию на практике при решении задач;
- в методике построения динамических моделей физических процессов и организации самостоятельного исследования физических явлений.
- в развитии навыков применения специальных математических методов при исследовании сложных динамических систем.

Задачи дисциплины

Задачами данного курса являются:

- освоение знаний о динамических явлениях; величинах, характеризующих эти явления; законах, которым они подчиняются; методах научного познания природы и формирование на этой основе представлений о физической картине мира; знакомство с основами теории динамических систем механики как одной из фундаментальных физических и математических теорий;
- применение знаний для объяснения явлений природы, принципов работы устройств, решения физических задач, обладающих динамическими свойствами;
- формирование готовности студентов к самостоятельной профессиональной деятельности по разработке динамических моделей физических явлений и применению специальных математических методов к исследованию этих моделей.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен анализировать задачи управления в технических системах на основе приобретенных знаний	ОПК-1.1 Осуществляет декомпозицию задачи управления, выделяет базовые составляющие задачи
ОПК-2 Способен формулировать задачи управления в технических системах на основе знаний по профильным разделам математических и естественнонаучных дисциплин	ОПК-2.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин
ПК-1 Способен проводить исследование систем управления и их компонент	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями системного анализа

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

Основные понятия и концепции аналитической механики, важнейшие теоремы механики и их следствия, порядок применения теоретического аппарата механики в важнейших практических приложениях;
Основные механических величины, их определения, смысл и значения для аналитической механики;
Основные модели механических явлений, идеологию моделирования механических систем и принципы построения математических моделей механических систем;
Основные методы исследования равновесия и движения механических систем, основных алгоритмов такого исследования.

уметь:

Интерпретировать механические явления при помощи соответствующего теоретического аппарата.
Пользоваться определениями механических величин и понятий для правильного истолкования их смысла.
Объяснять характер поведения механических систем с применением основных теорем механики и их следствий.
Записывать уравнения, описывающие поведение механических систем, учитывая размерности механических величин и их математическую природу (скаляры, векторы, кватернионы, линейные операторы).
Применять основные методы исследования равновесия и движения механических систем, а также основные алгоритмы такого исследования при решении конкретных задач.
Пользоваться при аналитическом и численном исследовании математико-механических моделей технических систем возможностями современных компьютеров и информационных технологий.

владеть:

Навыками и методами построения и исследования математических моделей при решении задач механики.
Навыками применения основных законов теоретической механики в важнейших практических приложениях.
Основными теоретическими подходами аналитической механики и методами анализа и решения соответствующих уравнений.
Навыками использования возможностей современных компьютеров и информационных технологий при аналитическом и численном исследовании математико-механических моделей технических систем.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Лагранжева механика	2	4		7
2	Условия равновесия материальной системы	4	2		4
3	Устойчивость	4	4		4
4	Малые колебания консервативных систем	4	4		4

5	Возникновение теории управления, примеры практических задач управления техническими системами	4	4		6
6	Математический аппарат теории управления	4	4		8
7	Типовые звенья следящей системы, ее точность и устойчивость	4	4		6
8	Управляемость и наблюдаемость линейных систем	4	4		6
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 4 (Весенний)

1. Лагранжева механика

Понятие механической связи. Классификация связей. Виртуальные перемещения. Общее уравнение динамики для системы материальных точек с идеальными связями. Конфигурационное многообразие голономной системы с конечным числом степеней свободы. Обобщенные координаты. Уравнения Лагранжа. Обобщенные силы. Уравнения Лагранжа в случае потенциальных сил; функция Лагранжа. Уравнения Лагранжа в неинерциальных системах отсчета.

Свойства уравнений Лагранжа: ковариантность, невырожденность (приведение к нормальному виду Коши). Структура кинетической энергии. Стационарно заданные системы (стационарная параметризация); потенциальные, гироскопические, диссипативные силы. Первые интегралы лагранжевых систем: циклические интегралы, обобщенный интеграл энергии (интеграл Пенлеве–Якоби).

2. Условия равновесия материальной системы

Определение положения равновесия. Условия равновесия системы с идеальными связями. (принцип виртуальных перемещений). Условия равновесия голономных систем.

3. Устойчивость

Определение устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости положения равновесия. Теоремы прямого метода Ляпунова для автономных систем: теоремы Ляпунова об устойчивости и асимптотической устойчивости, теорема Четаева о неустойчивости, теорема Барбашина–Красовского об условиях асимптотической устойчивости и неустойчивости.

Теорема Лагранжа-Дирихле об устойчивости равновесия консервативных механических систем. Условия неустойчивости консервативных систем по квадратичной части потенциальной энергии. Понятие о бифуркации. Случаи потери устойчивости для систем с потенциалом, зависящим от параметра. Влияние гироскопических и диссипативных сил на устойчивость равновесия. Теорема об асимптотической устойчивости строго диссипативных систем.

Первый метод Ляпунова исследования устойчивости. Теорема Ляпунова об устойчивости по линейному приближению (без доказательства). Критерий Рауса–Гурвица (без доказательства). Два сценария потери устойчивости: дивергенция и флаттер.

4. Малые колебания консервативных систем

Малые колебания консервативных систем вблизи устойчивого положения равновесия. Уравнение частот. Главные (нормальные) координаты. Общее решение. Случай кратных корней.

5. Возникновение теории управления, примеры практических задач управления техническими системами

Исторические аспекты возникновения теории управления. Регулятор Уатта. Задача о брахистохроне. Объект управления, фазовые координаты, управляющие функции, уравнения состояния объекта, управляющее устройство. Расширенное фазовое пространство управляемой системы. Способы задания цели управления. Функционал задачи.

Управление спуском КА в атмосфере планеты как характерный пример задачи управления. Замкнутые и разомкнутые системы управления. Программа управления, синтез управления. Обратная связь по координатам и по возмущениям. Аналитические подходы к решению линейных задач.

6. Математический аппарат теории управления

Система управления с обратной связью и её математическое описание с помощью линейной системы дифференциальных уравнений. Звено системы управления и его описание с помощью линейного дифференциального уравнения n -го порядка. Операторный подход Хевисайда, операторная передаточная функция звена, её использование для исследования устойчивости по входу. Характеристический многочлен. Математическая формализация подхода Хевисайда с помощью преобразования Лапласа. Основные положения операционного исчисления. Передаточная функция звена $H(s)$, матричная передаточная функция линейной системы, смысл элементов матричной передаточной функции. Передаточная функция системы управления при различных видах соединения звеньев: последовательном, параллельном, с обратной связью.

Свойства преобразования Лапласа. Теорема единственности. Таблица изображений для ряда элементарных функций. Преобразование Лапласа для свёртки функций. Алгебра передаточных функций. Перенос точки съёма сигнала и точки суммирования сигналов с целью получить более простую эквивалентную схему. Отклик системы на стандартные воздействия: дельта-функцию, тета-функцию, гармоническое колебание. Весовая функция, переходная функция, амплитудно-фазовая характеристика. Связь между весовой и переходной функциями. Связь между передаточной функцией и амплитудно-фазовой характеристикой. Использование весовой функции для нахождения отклика системы на произвольное внешнее воздействие.

7. Типовые звенья следящей системы, ее точность и устойчивость

Типовые звенья как элементарные ячейки сложной системы управления. Получение уравнений типовых звеньев из общего вида линейного дифференциального уравнения n -го порядка. Идеальный усилитель, интегрирующее звено, дифференцирующее звено, апериодическое звено. Примеры этих звеньев как реальных устройств. Построение для перечисленных типовых звеньев передаточных, весовых, переходных функций и амплитудно-фазовых характеристик. Интерпретация этих функций и характеристик для реальных типовых звеньев. Пример получения чистого интегратора из апериодического звена и идеального усилителя, объединённых положительной обратной связью.

Следящая система. Передаточные функции для ошибки по задающему воздействию и по возмущению. Исследование точности следящей системы. Различные подходы к синтезу инвариантной системы: увеличение коэффициента усиления, введение положительной обратной связи, введение корректирующих звеньев. Принципиальные сложности синтеза инвариантных систем при управлении по отклонению. Исследование точности следящей системы на больших интервалах времени и в предельном случае. Понятие о статической ошибке и устранение этой ошибки путём введения в контур управления интегрирующих звеньев. Астатические системы.

Устойчивость системы управления по начальным данным и её устойчивость по входу. Ограниченность входного и выходного сигналов. Суждение об устойчивости системы по её весовой и передаточной функциям. Связь устойчивости системы с расположением корней характеристического полинома. Алгебраические и графические критерии устойчивости (необходимое условие, критерий Рауса-Гурвица, критерий Михайлова). Непрерывная зависимость корней полинома от его коэффициентов. Граница устойчивости в комплексной плоскости корней полинома и граница устойчивости в плоскости параметров системы. Метод Д-разбиения для нахождения областей устойчивости в плоскости параметров. Пример использования метода Д-разбиения.

Характеристический полином системы управления с отрицательной обратной связью. Графический метод исследования устойчивости замкнутой системы управления. Суждение об устойчивости замкнутой системы по амплитудно-фазовой частотной характеристике разомкнутой системы (критерий Найквиста). Использование АФЧ-характеристик для анализа устойчивости сложных систем при отсутствии их точной математической модели. Передаточная функция звена запаздывания. Устойчивость системы с обратной связью при наличии запаздывания.

Структурная устойчивость систем управления. Пример системы с двойным интегратором и апериодическим звеном. Пример системы с одним интегратором и неустойчивым звеном. Локальная обратная связь как один из способов изменения структуры системы управления и устранения структурной неустойчивости. Переход от операторного описания систем управления к их описанию в пространстве состояний (алгоритм). Обобщение линейной системы управления на случай векторного входа и векторного выхода. Матричная передаточная функция. Весовая функция, переходная функция, характеристический полином для многомерной линейной системы управления общего вида.

Робастная система управления, как система, сохраняющая свои основные свойства при некотором изменении её параметров. Робастная устойчивость линейных систем. Теорема Харитоновой о робастной устойчивости полинома с независимыми коэффициентами.

8. Управляемость и наблюдаемость линейных систем

Свойства управляемости и наблюдаемости линейных систем. Необходимые и достаточные условия управляемости и наблюдаемости. Нелинейные элементы в системе управления. Примеры нелинейных элементов и их характеристик. Характерные особенности нелинейных элементов - зона нечувствительности и участок неоднозначности (гистерезис).

Метод фазовой плоскости при исследовании следящей системы с одним нелинейным элементом. Фазовый портрет, предельный цикл, автоколебание.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, маркерная доска, связь с Интернетом)

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Классическая механика [Текст] : учеб. пособие : доп. М-вом высш. и сред. спец. образов. СССР / М. А. Айзерман .— 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1980 .— 367 с.
2. Лекции по аналитической механике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ф. Р. Гантмахер ; под ред. Е. С. Пятницкого .— Изд. 3-е, стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005 .— 264 с.
3. Основы теоретической механики [Текст] / В. Ф. Журавлев .— 2-изд., перераб. — М. : Физматлит, 2001 .— 320 с.
4. Теоретическая механика [Текст] : учеб. пособие для ун-ов / А. П. Маркеев .— М. : Наука, 1990 .— 415 с.

5. Сборник задач по аналитической механике, [учебное пособие] /Е. С. Пятницкий, Н. М. Трухан, Ю. И. Ханукаев, Г. И. Яковенко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). Москва, МФТИ, 2018

Дополнительная литература

1. Введение в теоретическую механику [Текст], учеб. пособие /Ю. И. Ханукаев; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т). -М., МФТИ, 2017

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://teormech.fizteh.ru> - Сайт кафедры теоретической механики МФТИ
2. <http://www.elibrary.ru/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Mathematica и др.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Методические указания приводятся в ежегодно разрабатываемых домашних заданиях.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Системный анализ и управление
профиль подготовки:	Системный анализ и управление в технических, экономических и социальных системах Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической механики
курс:	2
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	В.А. Козьминых, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен анализировать задачи управления в технических системах на основе приобретенных знаний	ОПК-1.1 Осуществляет декомпозицию задачи управления, выделяет базовые составляющие задачи
ОПК-2 Способен формулировать задачи управления в технических системах на основе знаний по профильным разделам математических и естественнонаучных дисциплин	ОПК-2.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин
ПК-1 Способен проводить исследование систем управления и их компонент	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями системного анализа

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Динамические системы» обучающийся должен:

знать:

Основные понятия и концепции аналитической механики, важнейшие теоремы механики и их следствия, порядок применения теоретического аппарата механики в важнейших практических приложениях;

Основные механические величины, их определения, смысл и значения для аналитической механики;

Основные модели механических явлений, идеологию моделирования механических систем и принципы построения математических моделей механических систем;

Основные методы исследования равновесия и движения механических систем, основных алгоритмов такого исследования.

уметь:

Интерпретировать механические явления при помощи соответствующего теоретического аппарата.

Пользоваться определениями механических величин и понятий для правильного истолкования их смысла.

Объяснять характер поведения механических систем с применением основных теорем механики и их следствий.

Записывать уравнения, описывающие поведение механических систем, учитывая размерности механических величин и их математическую природу (скаляры, векторы, кватернионы, линейные операторы).

Применять основные методы исследования равновесия и движения механических систем, а также основные алгоритмы такого исследования при решении конкретных задач.

Пользоваться при аналитическом и численном исследовании математико-механических моделей технических систем возможностями современных компьютеров и информационных технологий.

владеть:

Навыками и методами построения и исследования математических моделей при решении задач механики.

Навыками применения основных законов теоретической механики в важнейших практических приложениях.

Основными теоретическими подходами аналитической механики и методами анализа и решения соответствующих уравнений.

Навыками использования возможностей современных компьютеров и информационных технологий при аналитическом и численном исследовании математико-механических моделей технических систем.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Задачи для текущего контроля публикуются в издаваемых к началу семестра сборниках заданий.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Определение положения равновесия. Принцип виртуальных перемещений. Условия равновесия консервативных систем и твердого тела.
2. Определение устойчивости (неустойчивости) положения равновесия по Ляпунову. Достаточные теоремы об устойчивости и неустойчивости положения равновесия консервативных систем (теорема Лагранжа-Дирихле, две теоремы Ляпунова и теорема Четаева о неустойчивости положения равновесия).
3. Малые колебания консервативных систем. Линеаризация уравнений Лагранжа вблизи устойчивого положения равновесия. Уравнение частот.
4. Главные координаты системы. Матрица преобразования координат, амплитудные вектора. Общее решение как сумма главных колебаний.
5. Определение асимптотической устойчивости положения равновесия. Теорема Ляпунова об устойчивости по линейному приближению. Линеаризация уравнений Лагранжа. Характеристическое уравнение. Критерий Рауса-Гурвица.
6. Влияние гироскопических и диссипативных сил на устойчивость равновесия. Условие Майевского-Четаева.
7. Определение устойчивости (неустойчивости) невозмущенного движения. Прямой метод Ляпунова: теорема Ляпунова об устойчивости и асимптотической устойчивости невозмущенного движения, теорема Четаева о неустойчивости невозмущенного движения.
8. Вынужденные колебания линейной стационарной системы под действием гармонических сил. Амплитудно-фазовая, амплитудная и фазовая характеристики. Явление резонанса. Реакция линейной стационарной системы на негармоническое воздействие.
9. Элементы теории катастроф. Кривая равновесий. Основные типы бифуркаций в динамических системах. Дивергенция и флаттер.
10. Естественный (сопровождающий) трехгранник. Разложение скорости и ускорения точки в осях трехгранника.
11. Обобщенные координаты точки. Разложение скорости и ускорения точки в локальном базисе криволинейных координат. Коэффициенты Ламе.
12. Твердое тело. Разложение движения тела на поступательное движение и вращение (движение с неподвижной точкой). Угловая скорость и угловое ускорение твердого тела. Распределение скоростей и ускорений в твердом теле (формулы Эйлера и Ривальса).
13. Кинематический винт твердого тела. Уравнение оси винта.
14. Плоскопараллельное движение твердого тела. Мгновенный центр скоростей.
15. Способы задания ориентации твердого тела. Углы Эйлера, матрицы направляющих косинусов. Кинематические уравнения Эйлера.
16. Теорема Эйлера о конечном повороте твердого тела с неподвижной точкой. Алгебра кватернионов. Тригонометрическая форма записи кватернионов. Кватернионный способ задания ориентации твердого тела.
17. Сложение поворотов в кватернионной форме. Параметры Родрига-Гамильтона.
18. Кинематические уравнения вращательного движения твердого тела в кватернионах (уравнения Пуассона). Интегрирование уравнений Пуассона для прецессионного движения твердого тела.

19. Кинематика сложного движения. Сложение скоростей и ускорений точек в сложном движении.
20. Угловая скорость и угловое ускорение твердого тела в сложном движении.
21. Аксиоматика механики. Внешние и внутренние силы. Импульс, момент импульса и кинетическая энергия системы материальных точек. Центр масс, момент силы, элементарная работа и мощность силы.
22. Основные теоремы динамики в инерциальной системе отсчета.
23. Теорема Кенига.
24. Потенциальные, гироскопические, диссипативные силы. Критерий потенциальности сил. Консервативные системы, закон сохранения энергии.
25. Основные теоремы динамики в неинерциальных системах отсчета.
26. Движение точки в центральном поле. Центральная сила. Первые интегралы движения точки в центральном поле.
27. Уравнение Бине. Поле всемирного тяготения. Уравнение конических сечений.
28. Законы Кеплера. Задача двух тел.
29. Тензор инерции и эллипсоид инерции твердого тела. Главные оси инерции. Главная ось инерции.
30. Преобразование тензора инерции при повороте и параллельном переносе осей: теорема Гюйгенса–Штейнера для тензора инерции.
31. Выражения кинетического момента и кинетической энергии твердого тела через тензор инерции.
32. Динамические и кинематические уравнения Эйлера. Интегрируемые случаи.
33. Геометрическая интерпретация Пуансо.
34. Случай Эйлера. Первые интегралы движения. Параметры свободной регулярной прецессии.
35. Случай Лагранжа. Первые интегралы движения.
36. Основная формула гироскопии: формула для момента, поддерживающего вынужденную регулярную прецессию динамически симметричного твердого тела.
37. Эквивалентные преобразования системы сил, действующих на твердое тело. Алгоритм сведения к винту.
38. Механическая связь. Классификация связей.
39. Возможные и виртуальные перемещения.
40. Общее уравнение динамики для системы материальных точек с идеальными связями. Конфигурационное многообразие голономной системы с конечным числом степеней свободы.
41. Голономные системы. Обобщенные координаты. Уравнения Лагранжа. Обобщенные силы.
42. Уравнения Лагранжа в случае потенциальных сил. Лагранжиан. Ковариантность и невырожденность уравнений Лагранжа.
43. Уравнения Лагранжа в неинерциальных системах отсчета.
44. Структура кинетической энергии. Кинетическая энергия в случае стационарной системы. Потенциальные, гироскопические, диссипативные силы.
45. Первые интегралы лагранжевых систем: циклические интегралы, обобщенный интеграл энергии (интеграл Пенлеве–Якоби).

Примеры экзаменационных билетов:

- Билет 1. Кинематика сложного движения. Законы сложения скоростей и ускорений точек в сложном движении. Формула Кориолиса.
- Билет 2. Формулы для угловой скорости и углового ускорения тела в сложном движении.
- Билет 3. Кинематические уравнения вращательного движения твердого тела в углах Эйлера.
- Билет 4. Теоремы об изменении импульса и момента импульса системы материальных точек в инерциальном базисе.
- Билет 5. Кинетическая энергия системы материальных точек. Теорема Кёнига.
- Билет 6. Уравнение Гамильтона–Якоби. Полный интеграл уравнения Гамильтона–Якоби. Теорема Якоби.
- Билет 7. Случаи разделения переменных в уравнении Гамильтона–Якоби.
- Билет 8. Интегральные инварианты Пуанкаре и Пуанкаре–Картана гамильтоновых систем.

Билет 9. Обратные теоремы теории интегральных инвариантов. Теорема Ли Хуа-чжуна об универсальных интегральных инвариантах первого порядка гамильтоновых систем (без доказательства).

Билет 10. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема гамильтоновой системы.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Подготовка к экзамену самостоятельная: перечислены задачи, решение которых каждый студент излагает полностью.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.