

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Факультет физико-математических и естественных наук

Институт физических исследований и технологий

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности
03.03.02 Физика**

**Квалификация (степень) выпускника
бакалавр**

1. Цели и задачи дисциплины:

Основной целью курса теоретической механики является формирование математического мышления и выработки навыков моделирования динамических процессов различной физической природы и явлений на основе фундаментальных законов классической механики и современных методов математики и информатики. Теоретическая механика является фундаментальной дисциплиной физико-математического цикла, на которой основаны важнейшие разделы математики, современная теория управления и инженерные дисциплины. Известные динамические аналогии и современная теория динамических систем позволяют существенно расширить область приложений теоретической механики, включая системы различной физической природы и общественные процессы и явления.

Курс теоретической механики предусматривает ознакомление с основными законами механики, обучение аналитическому представлению реальных процессов, исследованию их по математической модели и интерпретации соответствующих результатов и эффектов, полученных вследствие аналитического решения и математического моделирования.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Теоретическая механика» относится к базовой части, блок Б1.О.01.08 учебного плана.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.	Механика, молекулярная физика, Электричество и магнетизм, Модуль «Математика»	Атомная физика, термодинамика и статистическая физика, электродинамика, квантовая теория

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование ряда компетенций в соответствии с ОС ВО РУДН.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: теоретические основы, основные понятия, законы и модели механики, методы решения задач о равновесии и движении материальных тел;

Уметь: поставить и решить задачу о движении и равновесии материальных тел;

Владеть: навыками составления и решения уравнений движения и равновесия механической системы.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
				7	8
Аудиторные занятия (всего)	68			36	32
В том числе:					
<i>Лекции</i>	34			18	16
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>					
<i>Семинары (С)</i>	34			18	16

<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>					
Самостоятельная работа (всего)		76		36	40
Общая трудоемкость	час	144		72	72
	зач. ед.	4		2	2

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Общая часть. Основные понятия механики.	Объекты изучения теоретической механики. Материальная точка. Механическая система. Неизменяемая механическая система. Абсолютно твердое тело. Сила. Момент силы. Эквивалентные и уравновешенные системы сил. Аксиомы о силах. Следствие. Классификация сил. Свойства внутренних сил неизменяемой механической системы. Связи и их классификация. Аксиомы о связях. Основные типы связей и их реакции. Понятие об идеальных связях.
2.	Кинематика	Системы отсчета. Кинематические элементы движения. Основные задачи кинематики. Кинематика точки. Способы задания движения точки. Криволинейные координаты точки. Ортогональные системы координат. Примеры криволинейных систем координат. Естественный способ задания движения точки. Скорость и ускорение точки. Определение их при различных способах задания движения точки.
3.	Кинематика твердого тела	Степень свободы твердого тела. Определение положения твердого тела. Углы Эйлера. Поступательное движение твердого тела. Закон движения. Теоремы о траекториях, скоростях и ускорениях точек тела. Движение твердого тела около неподвижной точки и неподвижной оси. Кинематические характеристики твердого тела. Параметры Кэли-Клейна. Связь между параметрами Кэли-Клейна и углами Эйлера. Кватернионы. Закон движения твердого тела около неподвижной точки. Вектор угловой скорости. Определение мгновенной угловой скорости твердого тела с одной неподвижной точкой. Скорости и ускорения точек тела. Кинематические уравнения Эйлера. Геометрическая интерпретация. Подвижный и неподвижный аксоиды. Движение свободного твердого тела. Теорема Эйлера о мгновенном движении. Скорости и ускорения точек тела. Геометрическая интерпретация. Винтовое движение. Подвижный и неподвижный аксоиды. Плоское движение твердого тела. Закон движения. Скорости и ускорения точек тела Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр ускорений. Подвижный и неподвижный центроиды.
4.	Сложное движение точки	Основная и подвижная системы отсчета. Относительное, переносное и абсолютное движение точки. Теоремы сложения скоростей и ускорений точки. Ускоре-

		ние Кориолиса. Движение точки относительно системы координат, связанной с Землей. Объяснение абберационного смещения звёзд. Закон Бэра.
5.	Сложное движение твердого тела	Сложение поступательных движений твердого тела. Сложение вращательных движений вокруг пересекающихся, параллельных и скрещивающихся осей. Пара вращений. Сложение поступательных и вращательных движений тела. Сложение винтовых движений.
6.	Статика. Геометрическая статика	Основные задачи статики. Система сходящихся сил. Условия равновесия системы сходящихся сил. Параллельные силы. Центр параллельных сил. Пара сил. Момент пары сил. Теоремы об эквивалентности пар сил. Сложение пар сил. Условия равновесия пар сил. Произвольная система сил. Приведение произвольной системы сил к главному вектору и главному моменту. Инварианты приведения. Динамический винт. Условия равновесия произвольной системы сил. Система твердых тел. Условия равновесия системы тел.
7.	Аналитическая статика	Действительные, возможные и виртуальные перемещения точки. Работа силы на действительном и виртуальном перемещениях точки. Идеальные связи. Работа силы на конечном перемещении. Поле сил. Потенциальные силы. Силовая функция. Принцип возможных перемещений для систем, стесненных идеальными связями. Условия равновесия неизменяемых систем. Уравнения равновесия механической системы в прямоугольных координатах. Метод множителей Лагранжа. Обобщенные координаты. Обобщенные силы. Уравнения равновесия механической системы в обобщенных координатах. Равновесие механической системы в потенциальном силовом поле. Центр тяжести и центр масс механической системы.
8.	Динамика	Основные понятия и определения динамики. Инерциальные системы отсчета.
9.	Динамика точки	Законы Ньютона. Уравнения движения материальной точки. Прямая и обратная задачи динамики. Основные динамические показатели движения материальной точки и механической системы: количество движения, момент количества движения, кинетический момент, кинетическая энергия. Несвободное движение материальной точки. Уравнения движения точки по кривой и поверхности. Сферический маятник. Движение точки под действием центральной силы. Уравнения движения. Формула Бинэ. Движение планет. Закон всемирного тяготения Ньютона. Задача двух тел. Движение искусственных небесных тел.
10.	Относительное движение точки	Инерциальная и неинерциальная системы отсчета. Уравнения движения точки в неинерциальной системе отсчета.

		Силы инерции. Общие теоремы динамики относительного движения точки. Отклонение падающих тел от вертикали. Маятник Фуко.
11.	Динамика точки переменной массы	Точка переменной массы. Уравнение Мещерского. Задача управления движением точки с помощью реактивных сил.
12.	Динамика механической системы	Момент инерции твердого тела относительно оси. Радиус инерции. Центробежные моменты. Теорема Гюйгенса. Теорема Кёнига. Кинетическая энергия твердого тела. Эллипсоид инерции. Главные оси инерции. Общие теоремы динамики механической системы. Теоремы об изменении количества движения и о движении центра масс. Теорема о кинетическом моменте механической системы. Теорема о кинетической энергии механической системы. Первые интегралы.
13.	Динамика твердого тела	Поступательное движение твердого тела. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Физический маятник. Движение твердого тела около неподвижной точки. Динамические уравнения Эйлера. Тяжелое твердое тело с одной неподвижной точкой. Уравнения Эйлера-Пуассона. Первые интегралы. Классические случаи интегрируемости уравнений динамики твердого тела с одной неподвижной точкой. Случай Эйлера. Случай Лагранжа. Случай С.В. Ковалевской. Движение свободного твердого тела. Плоскопараллельное движение твердого тела.
14.	Принципы механики	Принцип Даламбера. Принцип виртуальных перемещений Даламбера-Лагранжа. Принцип Журдена. Принцип Гаусса. Принцип стационарного действия Гамильтона. Принцип Остроградского. Принцип стационарного действия Лагранжа. Принцип Мопертюи. Принцип стационарного действия Якоби. Оптико-механическая аналогия.
15.	Уравнения движения механической системы	Уравнения движения механической системы в прямоугольных координатах. Множители Лагранжа. Интеграл энергии. Уравнения движения механической системы в обобщенных координатах. Обобщенные силы. Функция Лагранжа. Циклические координаты. Циклические интегралы. Уравнения Рауса. Уравнения движения механической системы в канонической форме. Канонические переменные. Функция Гамильтона. Первые интегралы. Уравнения Аппеля. Принцип стационарного действия Гамильтона и уравнения Лагранжа второго рода. Вывод уравнений Лагранжа из принципа Остроградского. Уравнения Лагранжа и принцип стационарного действия Лагранжа. Метод Гамильтона-Якоби. Теорема Якоби о первых интегралах уравнений динамики в канонических переменных. Применение метода Гамильтона-Якоби для стационарных систем. Применение метода Гамильтона-

		<p>Якоби для систем с циклическими координатами. Применение метода Гамильтона-Якоби для систем с разделяющимися переменными.</p> <p>Моделирование динамики механических систем со связями. Определение выражений множителей Лагранжа. Стабилизация связей при численном решении уравнений динамики.</p> <p>Исследование динамики математического маятника. Циклоидальный маятник.</p> <p>Электромеханика. Функция Лагранжа электромеханической системы. Сила Ампера и момент силы Ампера. Магнитный момент проводника с током.</p>
16.	Движение механической системы около положения равновесия	<p>Классификация сил. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Функция Релея. Уравнения движения механической системы в среде с сопротивлением.</p> <p>Условия равновесия. Устойчивость положения равновесия. Исследование устойчивости положения равновесия механической системы методом Лагранжа. Теорема Лагранжа-Лежен Дирихле.</p> <p>Устойчивость положения равновесия механической системы в однородном поле тяжести. Принцип Торричелли.</p>
17.	Устойчивость движения	<p>Основные определения теории устойчивости по Ляпунову. Теоремы об устойчивости. Метод функций Ляпунова. Устойчивость линейных систем.</p>

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Семина.	СРС	Всего час.
1.	Общая часть. Основные понятия механики.	2	2	4	8
2.	Кинематика	2	2	4	8
3.	Кинематика твердого тела	2	2	4	8
4.	Сложное движение точки	2	2	4	8
5.	Сложное движение твердого тела	2	2	6	10
6.	Статика. Геометрическая статика.	2	2	4	8
7.	Аналитическая статика	2	2	4	8
8.	Динамика	2	2	4	8
9.	Динамика точки	2	2	4	8
10.	Относительное движение точки	2	2	4	8
11.	Динамика точки переменной массы	2	2	6	10
12.	Динамика механической системы	2	2	4	8
13.	Динамика твердого тела	2	2	4	8
14.	Принципы механики	2	2	4	8
15.	Уравнения движения механической системы	2	2	6	10
16.	Движение механической системы около положения равновесия	2	2	6	10
17.	Устойчивость движения	2	2	4	8

6. Лабораторный практикум – не предусмотрен

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)
1	1, 2, 3	Системы отсчета. Кинематика точки. Способы задания движения точки. Криволинейные координаты точки. Естественный способ задания движения точки. Скорость и ускорение точки.	2
2	1, 2, 3	Кинематика твердого тела. Определение положения твердого тела. Движение твердого тела около неподвижной точки и неподвижной оси. Определение мгновенной угловой скорости твердого тела с одной неподвижной точкой. Скорости и ускорения точек тела. Подвижный и неподвижный аксоиды. Плоское движение твердого тела. Скорости и ускорения точек тела Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр ускорений. Подвижный и неподвижный центроиды.	1
3	1, 2, 3, 4, 5	Сложное движение точки. Относительное, переносное и абсолютное движение точки. Теоремы сложения скоростей и ускорений точки. Ускорение Кориолиса. Сложное движение твердого тела. Сложение вращательных движений твердого тела. Пара вращений.	2
4	1, 6, 7	Произвольная система сил. Приведение произвольной системы сил к главному вектору и главному моменту. Инварианты приведения. Равновесие произвольной системы сил. Система твердых тел. Условия равновесия системы тел.	1
5	1, 6, 7	Принцип возможных перемещений для систем, стесненных идеальными связями. Уравнения равновесия механической системы в прямоугольных координатах. Метод множителей Лагранжа. Уравнения равновесия механической системы в обобщенных координатах. Равновесие механической системы в потенциальном силовом поле. Центр тяжести и центр масс механической системы.	1
6	1, 8, 9, 10, 11	Динамика точки. Уравнения движения материальной точки. Прямая и обратная задачи динамики. Движение точки под действием центральной силы.	4
7	1, 8, 9, 10, 11, 12, 13	Динамика механической системы. Общие теоремы динамики механической системы. Теоремы об изменении количества движения и о движении центра масс. Теорема о кинетическом моменте механической системы. Теорема о кинетической энергии механической системы. Первые интегралы. Динамика твердого тела. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Движение твердого тела около неподвижной точки. Движение свободного твердого тела. Плоскопараллельное движение твердого тела.	2
8	1, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	Принцип Даламбера. Принцип виртуальных перемещений Даламбера-Лагранжа. Принцип Гаусса.	1
9	1, 8, 9, 10,	Уравнения движения механической системы в прямо-	4

11, 12, 13, 14, 15, 16	<p>угольных координатах. Множители Лагранжа. Интеграл энергии.</p> <p>Уравнения движения механической системы в обобщенных координатах. Обобщенные силы. Функция Лагранжа.</p> <p>Уравнения движения механической системы в канонической форме. Канонические переменные. Функция Гамильтона. Первые интегралы. Уравнения Аппеля.</p>
------------------------	--

В том числе в интерактивной форме:

№ п/п	№ раздела	Тематика практических занятий (семинаров)	Вид занятия	
1	1, 2, 3	Плоское движение твердого тела. Скорости и ускорения точек тела Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр ускорений. Подвижный и неподвижный центроиды.	Мозговой штурм	1
2	1, 2, 3, 4	Сложное движение точки. Относительное, переносное и абсолютное движение точки. Теоремы сложения скоростей и ускорений точки. Ускорение Кориолиса.	Case-study	1
3	6, 7	Произвольная система сил. Приведение произвольной системы сил к главному вектору и главному моменту. Инварианты приведения. Равновесие произвольной системы сил. Система твердых тел. Условия равновесия системы тел.	Case-study	1
4	6, 7	Принцип возможных перемещений для систем, стесненных идеальными связями. Уравнения равновесия механической системы в прямоугольных координатах. Метод множителей Лагранжа. Уравнения равновесия механической системы в обобщенных координатах. Равновесие механической системы в потенциальном силовом поле. Центр тяжести и центр масс механической системы.	Case-study	1
5	8, 9, 10, 11	Динамика точки. Уравнения движения материальной точки. Прямая и обратная задачи динамики. Движение точки под действием центральной силы.	Case-study	4
6	8, 9, 10, 11, 12	Динамика механической системы. Общие теоремы динамики механической системы. Теоремы об изменении количества движения и о движении центра масс. Теорема о кинетическом моменте механической системы. Теорема о кинетической энергии механической системы. Первые интегралы.	Case-study	2
7	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	Принцип Даламбера. Принцип виртуальных перемещений Даламбера-Лагранжа.	Case-study	1

8. Перечень тем самостоятельной работы

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельных работ	Трудоемкость (час.)
1	1, 2, 3	Ортогональные системы координат. Примеры криволинейных систем координат.	2

2	1, 2, 3	Определение положения твердого тела с неподвижной точкой. Углы Эйлера. Параметры Кэли-Клейна. Связь между параметрами Кэли-Клейна и углами Эйлера. Кватернионы.	2
3	1, 2, 3, 4, 5	Сложное движение точки. Относительное, переносное и абсолютное движение точки. Теоремы сложения скоростей и ускорений точки. Ускорение Кориолиса. Выполнение расчетной работы.	2
4	6, 7	Произвольная система сил. Приведение произвольной системы сил к главному вектору и главному моменту. Инварианты приведения. Равновесие произвольной системы сил. Система твердых тел. Условия равновесия системы тел.	2
5	9	Законы Кеплера. Сила всемирного тяготения. Задача двух тел. Движение искусственных небесных тел.	2
6	14	Принцип Мопертюи. Принцип стационарного действия Якоби. Оптико-механическая аналогия.	2
7	15	Функция Лагранжа. Циклические координаты. Циклические интегралы. Метод Рауса игнорирования циклических координат. Применение метода Гамильтона-Якоби.	2
8	15	Моделирование динамики механических систем со связями. Определение выражений множителей Лагранжа. Стабилизация связей при численном решении уравнений динамики.	2
9	17	Устойчивость движения. Метод функций Ляпунова. Устойчивость линейных систем.	2

9. Темы контрольных работ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика контрольных работ	Трудоемкость (час.)
1	1, 2, 3	Криволинейные координаты точки. Ортогональные системы координат. Цилиндрическая и сферическая системы координат.	0,5
2	1, 2, 3	Определение проекций мгновенной угловой скорости на оси подвижной и неподвижной систем координат.	0,5
3	1, 2, 3, 4, 5	Сложение скоростей и ускорений точки.	0,5
4	9	Движение тела относительно Земли. Падение тела на Землю с сопротивлением.	0,5
5	15	Уравнения динамики механической системы в обобщенных координатах. Первые интегралы.	0,5
6	15	Уравнения движения механической системы в канонической форме. Уравнения Аппеля.	0,5
7	17	Устойчивость движения. Метод функций Ляпунова. Устойчивость линейных систем.	0,5

10. Темы коллоквиумов

Коллоквиум 1. Основные понятия механики. Кинематика точки. Кинематика твердого тела. Сложное движение точки. Сложное движение твердого тела.

Коллоквиум 2. Принципы и уравнения динамики.

Коллоквиум 3. Движение механической системы около положения равновесия. Устойчивость движения.

11. Темы рефератов и самостоятельных исследований

1. Классические обратные задачи динамики.
2. Приведение системы дифференциальных уравнений к форме уравнений Лагранжа.
3. Обобщения гамильтоновой механики.
4. Системы Гельмгольца.
5. Системы Биркгофа.
6. Связанные системы.
7. Параметры Кэли-Клейна. Кватернионы.
8. Динамика системы переменного состава.
9. Импульсивные движения.
10. Построение системы дифференциальных уравнений, соответствующих заданным уравнениям связей.
11. Построение динамических систем с заданными свойствами.
12. Уравнения динамики механической системы в прямоугольных координатах.
13. Уравнения динамики механической системы в обобщенных координатах.
14. Численное решение уравнений динамики связанных систем методом Эйлера.
15. Численное решение уравнений динамики связанных систем методом Рунге-Кутты.
16. Вариационные принципы механики.
17. О принципе наименьшего принуждения.
18. Стабилизация связей при численном решении систем дифференциальных уравнений динамики.

12. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория, аудитории для проведения семинарских занятий.

13. Информационное обеспечение дисциплины

а) программное обеспечение: система аналитических вычислений Maple.

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС), учебный портал РУДН, Научная электронная библиотека РУДН.

14. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

Учебная литература.

Учебники, учебные пособия, конспекты лекций

1. Павленко Ю.Г. Лекции по теоретической механике. М. ФИЗМАТЛИТ, 2002. 392 с. – ISBN 5-9221-0241-9.
2. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. С.-Пб.: Лань, 2009. 576 с.
3. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Санкт-Петербург. Изд. «Лань». 2009. 736 с.
4. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. В 2-х чч. Ч. 1. Кинематика, статика, динамика материальной точки. Санкт-Петербург. Изд. «Лань». 2009. 480 с.
5. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. В 2-х чч. Ч. 2. Динамика системы материальных точек. Санкт-Петербург. Изд. «Лань». 2009. 336 с.
6. Галиуллин А.С. Аналитическая динамика. М. Высшая школа. 1989. 264 с.
7. Галиуллин А.С. Аналитическая динамика. М. Изд. РУДН, 1998. 441 с.
8. Маркеев А.П. Теоретическая механика: учебник для высших учебных заведений. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. –592 с.
9. Мухарлямов Р.Г. и др. Иллюстрированный толковый словарь русской научной и технической лексики. Под ред. В.И. Максимова (раздел «Теоретическая механика»). М. «Руссо», 1994. 800 с.
10. Мухарлямов Р.Г. Кинематика. Тексты лекций. М. Изд-во РУДН. 1992. 50 с.
11. Мухарлямов Р.Г. Уравнения движения механических систем // М.: РУДН. 2001. 99 с.

12. Мухарлямов Р.Г. Принципы и уравнения динамики механических систем. Учебное пособие // Р.Г. Мухарлямов. – Ижевск. Изд-во «Принт-2». 2017 – 99 с.
13. Поляхов Н.Н., Зегжда С.А., Юшков М.П. Теоретическая механика. М. Издательство: Юрайт. 2012. 593 с.
14. Никифорова В.М., Яблонский А.А. Курс теоретической механики. М. Изд. «Кнорус». 2011. 608 с.
15. А.А. Эрдеди, Н.А. Эрдеди. Теоретическая механика: учебное пособие. М.: Кнорус. 2012. –208 с.

Дополнительная литература

16. Апфель П. Теоретическая механика. Т. 1,2. М. Физматгиз. 1960.
17. Голубев Ю.Ф. Основы теоретической механики. М. Изд. МГУ. 2000. 719 с.
18. Мухарлямов Р.Г. Уравнения движения механических систем. М. Изд. РУДН, 2001. 99 с.
19. Суслов Г.К. Теоретическая механика. М. Гостехиздат. 1946. 669 с.
20. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М. Высшая школа. 1995. 416 с.
21. Четаев Н.Г. Теоретическая механика. М. Наука. 1987.
22. Мухарлямов Р.Г., Киргизбаев Ж.К. Моделирование динамики систем с программными связями. Шымкент. Казахстан. Изд. «Нурлы Бене». 2008. 181 с.
23. Трифонов Е.Д. Вариационные принципы в физике // Соросовский образовательный журнал. № 6, 1998. с. 106-111.
24. Полак Л.С. Вариационные принципы механики. М. Гос. изд-во физико-математической литературы. 1959.– 602 с.
25. Маркеев А.П. О принципе наименьшего принуждения // Соросовский образовательный журнал. № 1, 1998. с. 113-121.
26. Uri M. Ascher, Hongsheng Chin, Petzold L.R., Reich S. Stabilization of constrained Mechanical systems with DAEs and invariant manifolds, J. Mechanics of Structures and Machines, 23 (1995), 135-158.
27. Uri M. Ascher and Ping Lin. Sequential Regularization Method for Nonlinear Higher Index DAEs. June, 1995. 1-25.
28. Uri M. Ascher and Ping Lin. Sequential Regularization Method for Higher Index DAEs with Constraint Singularities: the Linear Index-2 Case. Institute of Applied Mathematics Technical Reports. 1995.
29. J. Guadrado and J. Cardinal, E. Bayo Modeling and Solution Methods for Efficient real-Time Simulation of Multibody Dynamics // Multibody System Dynamics. Vol. 1. № 3. 1997. P. 259-280.
30. Meiser Peter, Enge Olaf, Freudenberg Heiko and Kielau Gerald. Electromechanical Interactions in Multibody Systems Containing Electromechanical Drives // Multibody System Dynamics. Vol. 1. № 3. 1997. P. 281-302.
31. J. Baumgarte, Eine rein Hamiltonsche Formulierung der Mechanik von Systemen mit holonomen Bindungen // Acta Mechanica 36, 135-142 (1980).
32. Rentrop P., Strehmel K., Weiner R. Ein Überblick über Einschnitten zur numerischen Integration in der technischen Simulation // ISSN 0936-7195 GAMM-Mitt. Berlin. 19 (1996). H. 1. 9-43.

Задачники и пособия

33. Павленко Ю.Г. Задачи по теоретической механике. Учеб. пособие: Для вузов. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 536 с. – ISBN 5-9221-0302-4/
34. Ольховский И.И., Павленко Ю.Г., Кузьменков Л.С. Задачи по теоретической механике для физиков. М. Изд-во Московского ун-та. 1977.
35. Мещерский И.В. Задачи по теоретической механике. С.-Пб.: Лань, 2012. 448 с.
36. З.П. Козлова, А.В. Паншина, Г. М. Розенблат. Теоретическая механика в решениях задач из сборника И.В. Мещерского: Динамика материальной точки / Под ред. Г.М. Розенבלата. – М.: КомКнига, 2006. –312 с.
37. З.П. Козлова, А.В. Паншина, Г. М. Розенблат. Теоретическая механика в решениях

задач из сборника И.В. Мещерского: Динамика материальной системы: Учебное пособие / Под ред. Г.М. Розенблата. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. –432 с.

38. Кирсанов М.Н. Решебник, Теоретическая механика. Учебное пособие. Изд. Физматлит. 2002. 384 с.

39. Чуркин В.М. Решение задач по теоретической механике. Геометрическая статика. С.-Петербург. Издательство «Лань». 2006. 304 с.

40. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. В 2-х тт. Т. 1. Статика и кинематика. С.-Петербург. Издательство «Лань». 2010. 672 с.

41. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. В 2-х тт. Т. 2. Динамика. С.-Петербург. Издательство «Лань». 2010. 640 с.

Учебники, учебные пособия на английском языке

Targ S.M. Theoretical mechanics. A short course: Manuel: Transl. from the Russian / S. M. Targ. - 3d print.- Moscow : Mir, 1988. - 525 p. : il. - 3.10.

Movnin M. Theoretical mechanics / M. Movnin, A. Izraelit ; Transl. from the Russian by M. Konyayeva. - 2nd print.- Moscow : Mir, 1974. - 399 p.

Galiullin A.S., Tuladhar B.M. An Introduction to the Theory of Stability of Motion. Katmandu University. 2000. 94 p.

Layton R.A. Principles of Analytical System Dynamics. N.-Y. Springer, 1998. 158 p.

Amiroche F. Fundamentals of Multibody Dynamics: Theory and Applications. Boston: Birkh&user.2006. 684 p

Jaume Llibre, Rafael Ramirez. Inverse Problems of Ordinary Differential Equations and Applications. Springer International Publishing Switzerland. 2016. 266 p.

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

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

Самостоятельная работа нужна при выполнении домашних заданий, для усвоения лекционного (теоретического) материала и для подготовки к контрольным работам.

16. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Шкала оценок

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине Теоретическая механика (4-й семестр)

Направление/Специальность: 03.03.02 Физика

Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП					Баллы темы	Баллы раздела
		Контрольная работа №1	Контрольная работа №2	Выполнение ЛЗ	Экзамен	Прочие формы контроля		
1. Общая часть. Основные понятия механики. ОПК-1	Объекты изучения теоретической механики. Материальная точка. Механическая система. Неизменяемая механическая система. Абсолютно твердое тело. Сила. Момент силы. Эквивалентные и уравновешенные системы сил. Аксиомы о силах. Следствие. Классификация сил. Свойства внутренних сил неизменяемой механической системы. Связи и их классификация. Аксиомы о связях. Основные типы связей и их реакции. Понятие об идеальных связях.				1	1	2	2
2. Кинематика. ОПК-1	Системы отсчета. Кинематические элементы движения. Основные задачи кинематики. Кинематика точки. Способы задания движения точки. Криволинейные координаты точки. Ортогональные системы координат. Примеры криволинейных систем координат. Естественный способ задания движения точки. Скорость и ускорение точки. Определение их при различных способах задания движения точки.	2		4	1	1	8	8

<p>3. Кинематика твердого тела. ОПК-1</p>	<p>Степень свободы твердого тела. Определение положения твердого тела. Углы Эйлера. Поступательное движение твердого тела. Закон движения. Теоремы о траекториях, скоростях и ускорениях точек тела. Движение твердого тела около неподвижной точки и неподвижной оси. Кинематические характеристики твердого тела. Закон движения твердого тела около неподвижной точки. Вектор угловой скорости. Определение мгновенной угловой скорости твердого тела с одной неподвижной точкой. Скорости и ускорения точек тела. Кинематические уравнения Эйлера. Геометрическая интерпретация. Подвижный и неподвижный аксоиды. Движение свободного твердого тела. Теорема Эйлера о мгновенном движении. Скорости и ускорения точек тела. Геометрическая интерпретация. Винтовое движение. Подвижный и неподвижный аксоиды. Плоское движение твердого тела. Закон движения. Скорости и ускорения точек тела Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр ускорений. Подвижный и неподвижный центроиды.</p>	2		4	3	1	10	10
<p>4. Сложное движение точки. ОПК-1</p>	<p>Основная и подвижная системы отсчета. Относительное, переносное и абсолютное движение точки. Теоремы сложения скоростей и ускорений точки. Ускорение Кориолиса. Движение точки относительно системы координат, связанной с Землей. Объяснение абберационного смещения звёзд. Закон Бэра.</p>	4		7	2	1	14	14
<p>5. Сложное движение твердого тела. ОПК-1</p>	<p>Сложение поступательных движений твердого тела. Сложение вращательных движений вокруг пересекающихся, параллельных и скрещивающихся осей. Пара вращений. Сложение поступательных и вращательных движений тела. Сложение винтовых движений.</p>				1	1	2	2

<p>6. Статика. Геометрическая статика. ОПК-1</p>	<p>Основные задачи статики. Система сходящихся сил. Условия равновесия системы сходящихся сил. Параллельные силы. Центр параллельных сил. Пара сил. Момент пары сил. Теоремы об эквивалентности пар сил. Сложение пар сил. Условия равновесия пар сил. Произвольная система сил. Приведение произвольной системы сил к главному вектору и главному моменту. Инварианты приведения. Динамический винт. Условия равновесия произвольной системы сил. Система твердых тел. Условия равновесия системы тел.</p>	7			4	1	12	12
<p>7. Аналитическая статика. ОПК-1</p>	<p>Действительные, возможные и виртуальные перемещения точки. Работа силы на действительном и виртуальном перемещениях точки. Идеальные связи. Работа силы на конечном перемещении. Поле сил. Потенциальные силы. Силовая функция. Принцип возможных перемещений для систем, стесненных идеальными связями. Условия равновесия неизменяемых систем. Уравнения равновесия механической системы в прямоугольных координатах. Метод множителей Лагранжа. Обобщенные координаты. Обобщенные силы. Уравнения равновесия механической системы в обобщенных координатах. Равновесие механической системы в потенциальном силовом поле. Центр тяжести и центр масс механической системы.</p>				1	1	2	2
<p>8. Динамика. ОПК-1</p>	<p>Основные понятия и определения динамики. Инерциальные системы отсчета.</p>				1	1	2	2

9. Динамика точки. ОПК-1	Законы Ньютона. Уравнения движения материальной точки. Прямая и обратная задачи динамики. Основные динамические показатели движения материальной точки и механической системы: количество движения, момент количества движения точки, кинетический момент. Несвободное движение материальной точки. Уравнения движения точки по кривой и поверхности. Сферический маятник. Движение точки под действием центральной силы. Уравнения движения. Формула Бинэ. Движение планет. Закон всемирного тяготения Ньютона. Задача двух тел. Движение искусственных небесных тел.		7		2	1	10	10	
10. Относительное движение точки. ОПК-1	Инерциальная и неинерциальная системы отсчета. Уравнения движения точки в неинерциальной системе отсчета. Силы инерции. Общие теоремы динамики относительного движения точки. Отклонение падающих тел от вертикали. Маятник Фуко.				1	1	2	2	
11. Динамика точки переменной массы ОПК-1	Точка переменной массы. Уравнение Мещерского. Задача управления движением точки с помощью реактивных сил.				1	1	2	2	
12. Динамика механической системы. ОПК-1	Момент инерции твердого тела относительно оси. Радиус инерции. Центробежные моменты. Теорема Гюйгенса. Кинетический момент твердого тела, вращающегося около неподвижной точки и неподвижной оси. Кинетическая энергия механической системы. Теорема Кёнига. Кинетическая энергия твердого тела. Эллипсоид инерции. Главные оси инерции. Общие теоремы динамики механической системы. Теоремы об изменении количества движения и о движении центра масс. Теорема о кинетическом моменте механической системы. Теорема о кинетической энергии механической системы. Первые интегралы.		8	15	4	1	28	28	
13. Динамика твердого тела. ОПК-1	Поступательное движение твердого тела. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Физический маятник. Движение свободного твердого тела. Плоскопараллельное движение твердого тела.					1	1	2	2
14. Принципы	Принцип Даламбера. Принцип виртуальных перемещений Даламбера-					1	1	2	2

механики. Уравнения динамики. ОПК-1	Лагранжа. Принцип Гамильтона-Остроградского. Уравнения динамики механической системы в обобщенных координатах и в канонических переменных. Метод Гамильтона-Якоби.							
15. Движение механической системы около положения равновесия. Устойчивость. ОПК-1	Устойчивость положения равновесия механической системы в однородном поле тяжести. Принцип Торричелли.				1	1	2	2
Итого		15	15	30	25	15	100	100

**Вопросы для самопроверки и обсуждений по темам
(Темы практических занятий)**

1. Системы отсчета. Кинематика точки. Способы задания движения точки. Криволинейные координаты точки. Естественный способ задания движения точки. Скорость и ускорение точки.
2. Кинематика твердого тела. Определение положения твердого тела. Движение твердого тела около неподвижной точки и неподвижной оси. Определение мгновенной угловой скорости твердого тела с одной неподвижной точкой. Скорости и ускорения точек тела. Подвижный и неподвижный аксоиды.
3. Плоское движение твердого тела. Скорости и ускорения точек тела Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр ускорений. Подвижный и неподвижный центроиды.
4. Сложное движение точки. Относительное, переносное и абсолютное движение точки. Теоремы сложения скоростей и ускорений точки. Ускорение Кориолиса.
5. Сложное движение твердого тела. Сложение вращательных движений вокруг пересекающихся, параллельных и скрещивающихся осей. Пара вращений.
6. Произвольная система сил. Приведение произвольной системы сил к главному вектору и главному моменту. Инварианты приведения. Равновесие произвольной системы сил. Система твердых тел. Условия равновесия системы тел.
7. Принцип возможных перемещений для систем, стесненных идеальными связями. Уравнения равновесия механической системы в прямоугольных координатах. Метод множителей Лагранжа. Уравнения равновесия механической системы в обобщенных координатах. Равновесие механической системы в потенциальном силовом поле. Центр тяжести и центр масс механической системы.
8. Динамика точки. Уравнения движения материальной точки. Прямая и обратная задачи динамики. Движение точки под действием центральной силы.
9. Динамика механической системы. Общие теоремы динамики механической системы. Теоремы об изменении количества движения и о движении центра масс. Теорема о кинетическом моменте механической системы. Теорема о кинетической энергии механической системы. Первые интегралы.
10. Динамика твердого тела. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Движение твердого тела около неподвижной точки. Движение свободного твердого тела. Плоскопараллельное движение твердого тела.
11. Аналитическая динамика. Принцип Даламбера. Принцип виртуальных перемещений Даламбера-Лагранжа. Принцип Гаусса.
12. Принцип стационарного действия Гамильтона и уравнения Лагранжа второго рода. Вывод уравнений Лагранжа из принципа Остроградского. Уравнения Лагранжа и принцип стационарного действия Лагранжа.
13. Уравнения движения механической системы в прямоугольных координатах. Множители Лагранжа. Интеграл энергии.
14. Уравнения движения механической системы в обобщенных координатах. Обобщенные силы. Функция Лагранжа.
15. Уравнения движения механической системы в канонической форме. Канонические переменные. Функция Гамильтона. Первые интегралы. Метод Гамильтона-Якоби.
16. Уравнения Аппеля.

Задачи и упражнения по аналитической механике и теории устойчивости

Принципы динамики

1. Получить уравнения динамики в канонических переменных из принципа стационарного действия Гамильтона.
2. Получить уравнения Аппеля в случае голономных связей из принципа наименьшего принуждения Гаусса.
3. Получить уравнения динамики твердого тела с неподвижной точкой в потенциальном поле сил из принципа стационарного действия Гамильтона.
4. Получить уравнения движения материальной точки в центральном поле сил $\mathbf{F} = -kmr^{-3}\mathbf{r}$ из принципа наименьшего принуждения Гаусса.
5. Получить уравнения движения материальной точки в центральном поле сил $\mathbf{F} = -kmr^{-3}\mathbf{r}$ из принципа стационарного действия Гамильтона.
6. Получить уравнения динамики двойного маятника из принципа стационарного действия Гамильтона.
7. Составить уравнения колебаний точечного груза в однородном поле тяжести, подвешенного на нити, намотанной на цилиндр радиуса R с горизонтальной осью.
8. Составить уравнения колебательных движений маятника с переменной длиной нити $l = l(t)$.
9. Составить уравнения колебательных движений циклоидального маятника.

Прямые и обратные задачи динамики

10. Определить первые интегралы уравнений динамики системы в канонических переменных в случае стационарных связей, когда все координаты системы являются разделяющимися.
11. Определить первые интегралы уравнений динамики системы в канонических переменных в случае стационарных связей, когда все координаты системы являются циклическими.
12. Определить первые интегралы уравнений динамики тяжелого твердого тела с неподвижной точкой в случае Лагранжа: $A = B, x_c = y_c = 0, z_c \neq 0$.
13. Определить первые интегралы уравнений динамики тяжелого твердого тела с неподвижной точкой в случае: $A = B = C, x_c = y_c = z_c = 0$.
14. Определить первый интеграл уравнений динамики системы со стационарными связями, движущейся под действием сил, допускающих обобщенный потенциал $V = V(q, \phi)$.
15. Составить уравнения Гамильтона-Якоби в полярных координатах, описывающие движение материальной точки в потенциальном поле сил. Рассмотреть частный случай $U = k/\rho$.
16. Составить уравнения Гамильтона-Якоби в сферических координатах, описывающие движение материальной точки в потенциальном поле сил. Рассмотреть частный случай $U = k/r$.
17. Найти первые интегралы канонических уравнений движения свободной материальной точки в центральном поле сил с силовой функцией $U = U(r)$.
18. Найти первые интегралы канонических уравнений движения свободной материальной точки в однородном поле силы тяжести.

19. Найти первые интегралы уравнений движения материальной точки в однородном поле силы тяжести по гладкому круговому цилиндру с вертикальной осью в предположении, что радиус цилиндра меняется по известному закону $\rho = \rho(t)$.

20. Составить уравнения Гамильтона-Якоби для циклоидального маятника. Определить закон колебательных движений.

21. Установить структуру гамильтониана системы, допускающей первые интегралы $f^\mu(q^i, t) = c^\mu$, $\mu = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n > m$.

22. Построить силовую функцию, допускающую движение материальной точки по плоской кривой $f(x, y) = 0$ (задача Суслова).

23. Определить силовое поле, допускающее движение материальной точки по заданному семейству траекторий $f(x, y) = c$ (задача Даннелли).

24. Найти позиционную силу, под действием которой материальная точка единичной массы совершает движение по эллипсу с постоянной секторной скоростью.

25. Построить силовую функцию, соответствующую первым интегралам движения материальной точки единичной массы: $r - ex = p$, $x\dot{y} - y\dot{x} = c$, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

26. По заданным интегралам $x\dot{y} - ky = c_1$, $y\dot{x} - kx = c_2$ уравнений движения материальной точки по плоскости построить функцию Лагранжа.

27. Составить уравнения динамики твердого тела с неподвижной точкой, кинетическая энергия и кинетический момент которого постоянны.

Равновесие и устойчивость

28. Определить область значений коэффициента α , при которых будет устойчиво тривиальное решение системы

$$\begin{cases} \dot{x} = \alpha x - y, \\ \dot{y} = \alpha y - z, \\ \dot{z} = \alpha z - x. \end{cases}$$

29. Исследовать устойчивость невозмущенного движения системы по соответствующим уравнениям возмущенного движения:

1) $\dot{x} + \alpha x + \beta x = 0$;

2) $\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 - 3x_1 - x_1^3, \\ \dot{x}_2 = 6x_1 - 2x_2; \end{cases}$

3) $\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 - x_1x_2, \\ \dot{x}_2 = x_2^3 - x_1^2; \end{cases}$

4) $\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 - x_1 - x_1x_2, \\ \dot{x}_2 = x_1 - x_2 - 2x_2^5; \end{cases}$

5) $\begin{cases} \dot{x}_1 = -\sin x_1 + x_2 - x_1, \\ \dot{x}_2 = 1 - e^{x_2} + 2(x_1 - x_2) + 3(x_3 - x_2), \\ \dot{x}_3 = -x_3 + 2(x_2 - x_3). \end{cases}$

30. На плоскости (x, y) построить фазовый портрет систем, представленных следующими уравнениями:

1) $\begin{cases} \dot{x} = -y + x(x^2 + y^2 - 1), \\ \dot{y} = x + y(x^2 + y^2 - 1); \end{cases}$

$$2) \begin{cases} \dot{x} = y + x(1 - x^2 + y^2), \\ \dot{y} = -x + y(1 - x^2 + y^2). \end{cases}$$

31. Исследовать устойчивость вращений твердого тела с неподвижной точкой в случае Эйлера по отношению к угловым скоростям.

32. Определить условия устойчивости равномерных вращений симметричного твердого тела с неподвижной точкой вокруг вертикальной оси в случае Лагранжа ($A = B, C, x_c = y_c = 0, z_c$) по отношению к проекциям угловой скорости p, q, r и направляющим косинусам α, β, γ главных осей инерции.

33. Определить положения равновесия материальной точки и исследовать устойчивость материальной точки в этих положениях, если точка может двигаться по гладкой параболе под действием силы $F = (1 - p/r)r/r$ с центром в фокусе параболы.

34. Определить положения равновесия материальной точки и исследовать устойчивость материальной точки в этих положениях, если точка может двигаться по гладкому эллипсу под действием силы $F = (1 - p/r)r/r$ с центром в одном из фокусов.

35. Однородный тяжелый стержень $AB = 2l$ опирается одним концом о гладкую вертикальную стену, другим концом на неподвижный профиль. Определить форму профиля так, чтобы стержень в любом положении оставался в равновесии.

36. Определить положения относительного равновесия тяжелой точки на гладкой параболе $y^2 = 2pz$, вращающейся вокруг вертикальной оси z с постоянной угловой скоростью ω и исследовать устойчивость этих положений.

37. Две материальные точки движутся по концентрическим окружностям. Определить силовую функцию, соответствующую сохранению постоянного расстояния между точками (Задача Ермакова).

38. По известным выражениям функции Лагранжа построить соответствующие функции Гамильтона:

$$1) L(\varphi) = (1 - \varphi^2)^{1/2}, \quad \varphi \leq 1;$$

$$2) L(q, \varphi, t) = \frac{1}{2} e^{\alpha t} (\varphi^2 - \omega^2 q^2), \quad \alpha, \omega - const;$$

$$3) L(\psi, \theta, \varphi, \dot{\psi}, \dot{\theta}, \dot{\varphi}) = \frac{1}{2} A (\dot{\psi}^2 \sin^2 \theta + \dot{\theta}^2) + \frac{1}{2} C (\dot{\psi} \sin \theta - \dot{\varphi})^2 - mgl \cos \theta;$$

$$4) L(\varphi, z, \dot{\varphi}, \dot{z}) = \frac{m}{2} (\dot{\varphi}^2(t) + \rho^2(t) \dot{z}^2 + \dot{\varphi}^2) - mgz, \quad \rho(t) \in C^2.$$

39. По известным функциям Гамильтона построить соответствующие функции Лагранжа:

$$1) H(p) = \frac{p^2}{2m}, \quad m - const;$$

$$2) H(p) = \frac{p^\beta}{\beta}, \quad \beta - const;$$

$$3) H(q, p, t) = \frac{p^2}{2m} + V(q, t);$$

$$4) H(q, p) = \frac{p^2}{2} + p \sin q.$$

Перечень вопросов итоговой аттестации по курсу

Основные понятия механики.

- 1.1. Материальная точка. Механическая система. Неизменяемая механическая система. Абсолютно твердое тело. Сила. Момент силы. Эквивалентные и уравновешенные системы сил.
- 1.2. Аксиомы о силах. Следствие. Классификация сил. Свойства внутренних сил неизменяемой механической системы.
- 1.3. Связи и их классификация. Аксиомы о связях. Основные типы связей и их реакции. Понятие об идеальных связях.

Кинематика.

- 2.1. Системы отсчета. Кинематические элементы движения. Основные задачи кинематики.
- 2.2. Кинематика точки. Способы задания движения точки.
- 2.3. Криволинейные координаты точки. Ортогональные системы координат. Примеры криволинейных систем координат.
- 2.4. Естественный способ задания движения точки.
- 2.5. Скорость и ускорение точки. Определение их при различных способах задания движения точки.

Кинематика твердого тела.

- 3.1. Степень свободы твердого тела. Определение положения твердого тела.
- 3.2. Углы Эйлера.
- 3.3. Поступательное движение твердого тела. Закон движения. Теорема о траекториях, скоростях и ускорениях точек тела при поступательном движении.
- 3.4. Движение твердого тела около неподвижной оси. Кинематические характеристики движения твердого тела.
- 3.5. Движение твердого тела около неподвижной точки. Закон движения твердого тела около неподвижной точки. Вектор угловой скорости. Определение мгновенной угловой скорости твердого тела с одной неподвижной точкой.
- 3.6. Скорости и ускорения точек тела с неподвижной точкой. Кинематические уравнения Эйлера. Геометрическая интерпретация. Подвижный и неподвижный аксоиды.
- 3.7. Движение свободного твердого тела. Теорема Эйлера о мгновенном движении. Скорости и ускорения точек тела.
- 3.8. Геометрическая интерпретация произвольного движения твердого тела. Винтовое движение. Подвижный и неподвижный аксоиды.
- 3.9. Плоское движение твердого тела. Закон движения. Скорости и ускорения точек тела. Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр ускорений. Подвижный и неподвижный центроиды.

Сложное движение точки.

- 4.1. Основная и подвижная системы отсчета. Относительное, переносное и абсолютное движение точки.
- 4.2. Теоремы сложения скоростей и ускорений точки. Ускорение Кориолиса.
- 4.3. Движение точки относительно системы координат, связанной с Землей. Объяснение аберрационного смещения звёзд. Закон Бэра.

Сложное движение твердого тела.

- 5.1. Сложение поступательных движений твердого тела.
- 5.2. Сложение вращательных движений вокруг пересекающихся осей.
- 5.3. Сложение вращательных движений вокруг параллельных осей. Пара вращений.
- 5.4. Сложение вращательных движений вокруг скрещивающихся осей.
- 5.5. Сложение поступательных и вращательных движений тела. Сложение винтовых движений.

Геометрическая статика.

- 6.1. Основные задачи статики. Система сходящихся сил. Условия равновесия системы сходящихся сил.
- 6.2. Параллельные силы. Центр параллельных сил.
- 6.3. Пара сил. Момент пары сил. Теоремы об эквивалентности пар сил. Сложение пар сил. Условия равновесия пар сил.
- 6.4. Произвольная система сил. Приведение произвольной системы сил к главному вектору и главному моменту. Инварианты приведения. Динамический винт. Условия равновесия произвольной системы сил.
- 6.5. Система твердых тел. Условия равновесия системы тел.

Аналитическая статика.

- 7.1. Действительные, возможные и виртуальные перемещения точки. Работа силы на действительном и виртуальном перемещениях точки. Идеальные связи.
- 7.2. Работа силы на конечном перемещении. Поле сил. Потенциальные силы. Силовая функция.
- 7.3. Принцип возможных перемещений для систем, стесненных идеальными связями. Условия равновесия неизменяемых систем.
- 7.4. Уравнения равновесия механической системы в прямоугольных координатах. Метод множителей Лагранжа.
- 7.5. Обобщенные координаты. Обобщенные силы. Уравнения равновесия механической системы в обобщенных координатах.
- 7.6. Равновесие механической системы в потенциальном силовом поле. Центр тяжести и центр масс механической системы.

Динамика.

- 8.1. Основные понятия и определения динамики. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Принцип детерминированности Ньютона.

Динамика точки.

- 9.1. Законы Ньютона. Уравнения движения материальной точки. Прямая и обратная задачи динамики.
- 9.2. Основные динамические показатели движения материальной точки и механической системы: количество движения, момент количества движения точки, кинетический момент.
- 9.3. Несвободное движение материальной точки. Уравнения движения точки по кривой. Математический маятник.
- 9.4. Уравнения движения точки по поверхности. Сферический маятник.
- 9.5. Движение точки под действием центральной силы. Уравнения движения. Формула Бинэ.
- 9.6. Движение планет. Закон всемирного тяготения Ньютона.
- 9.7. Задача двух тел. Движение искусственных небесных тел.

Относительное движение точки.

- 10.1. Инерциальная и неинерциальная системы отсчета. Уравнения движения точки в неинерциальной системе отсчета. Силы инерции. Общие теоремы динамики относительного движения точки.
- 10.2. Отклонение падающих тел от вертикали. Маятник Фуко.

Динамика точки переменной массы.

- 11.1. Точка переменной массы. Уравнение Мещерского. Задача управления движением точки с помощью реактивных сил.

Динамика механической системы.

- 12.1. Момент инерции твердого тела относительно оси. Радиус инерции. Центробежные моменты. Теорема Гюйгенса.
- 12.2. Кинетический момент твердого тела, вращающегося около неподвижной точки и неподвижной оси.

- 12.3. Кинетическая энергия механической системы. Теорема Кёнига. Кинетическая энергия твердого тела. Эллипсоид инерции. Главные оси инерции.
- 12.4. Общие теоремы динамики механической системы. Теоремы об изменении количества движения и о движении центра масс. Первые интегралы.
- 12.5. Теорема о кинетическом моменте механической системы. Первые интегралы.
- 12.6. Теорема о кинетической энергии механической системы. Первые интегралы.

Динамика твердого тела.

- 13.1. Поступательное движение твердого тела.
- 13.2. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Физический маятник.
- 13.3. Движение твердого тела около неподвижной точки. Динамические уравнения Эйлера
- 13.4. Тяжелое твердое тело с одной неподвижной точкой. Уравнения Эйлера-Пуассона. Первые интегралы.
- 13.5. Классические случаи интегрируемости уравнений динамики твердого тела с одной неподвижной точкой. Случай Эйлера. Случай Лагранжа. Случай С.В. Ковалевской.
- 13.6. Элементарная теория гироскопических явлений.
- 13.7. Движение свободного твердого тела. Плоскопараллельное движение твердого тела.

Аналитическая динамика. Принципы механики.

- 14.1. Принцип Даламбера. Принцип виртуальных перемещений Даламбера-Лагранжа. Принцип Журдена.
- 14.2. Принцип Гаусса.
- 14.3. Принцип стационарного действия Гамильтона. Принцип Остроградского.
- 14.4. Принцип стационарного действия Лагранжа. Принцип Мопертюи.
- 14.5. Принцип стационарного действия Якоби. Оптико-механическая аналогия.

Уравнения движения механической системы.

- 15.1. Уравнения движения механической системы в прямоугольных координатах. Множители Лагранжа. Интеграл энергии.
- 15.2. Уравнения движения механической системы в обобщенных координатах. Обобщенные силы. Функция Лагранжа.
- 15.3. Циклические координаты. Циклические интегралы. Метод Рауса игнорирования циклических координат.
- 15.4. Уравнения движения механической системы в канонической форме. Канонические переменные. Функция Гамильтона. Первые интегралы.
- 15.5. Уравнения Аппеля.
- 15.6. Принцип стационарного действия Гамильтона и уравнения Лагранжа второго рода. Вывод уравнений Лагранжа из принципа Остроградского. Уравнения Гамильтона и принцип стационарного действия Лагранжа.
- 15.7. Исследование динамики математического маятника. Циклоидальный маятник.

Движение механической системы около положения равновесия.

- 16.1. Классификация сил. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Функция Релея. Уравнения движения механической системы в среде с сопротивлением.
- 16.2. Условия равновесия. Устойчивость положения равновесия. Исследование устойчивости положения равновесия механической системы методом Лагранжа. Теорема Лагранжа-Лежен-Дирихле.
- 16.3. Устойчивость положения равновесия механической системы в однородном поле тяжести. Принцип Торричелли.

Устойчивость движения.

- 17.1. Основные понятия и определения теории устойчивости движения.
- 17.2. Основные методы исследования устойчивости стационарных и нестационарных систем. Метод функций Ляпунова. Теоремы Ляпунова об устойчивости. Метод характеристических чисел.

Контрольные тесты по дисциплине
«Теоретическая механика»
Статика, Кинематика
Вопросы для контроля знаний студентов

I. Статика

1. Какое состояние тела изучается в статике:
 - A) равновесие;
 - Б) движение.
2. Сила:
 - i. A) скаляр;
 - ii. Б) свободный вектор;
 - iii. В) скользящий вектор.
3. Эквивалентные системы сил оказывают на тело
 - i. A) одинаковое действие;
 - ii. Б) разное действие.
4. Под действием 2-х сил тело находится в равновесии, когда:
 - i. A) силы одинаковы;
 - ii. Б) силы одинаковы по величине, направлены противоположно вдоль одной прямой.
5. Изменится ли действие системы сил на тело при добавлении или отбрасывании от него уравновешенной системы сил:
 - i. A) да;
 - ii. Б) нет.
6. Если тело находится в равновесии под действием 3-х непараллельных сил, то линии действия всех 3-х сил:
 - i. A) пересекаются;
 - ii. Б) не пересекаются.
7. Имеет ли равнодействующую силу сходящаяся система сил?
 - i. A) да;
 - ii. Б) нет.
8. Каково количество условий равновесия сходящейся системы в векторной форме:
 - i. A) 1;
 - ii. Б) 2.
9. Каково количество условий равновесия сходящейся системы в скалярной форме:
 - i. A) 1;
 - ii. Б) 2;
 - iii. В) 3.
10. Момент силы:
 - i. A) векторная величина;
 - ii. Б) скалярная величина.
11. Можно ли заменить систему пар сил одной парой?
 - i. A) да;
 - ii. Б) нет.
12. Зависит ли главный вектор системы сил от точки приведения?
 - i. A) да;
 - ii. Б) нет.
13. Зависит ли главный момент системы сил от точки приведения?
 - i. A) да;
 - ii. Б) нет.
14. В скольких формах в скалярном виде можно представить условия равновесия произвольной плоской системы сил?

- i. А) 1;
 - ii. Б) 2;
 - iii. В) 3.
15. Коэффициент трения скольжения является:
- i. А) безразмерной величиной;
 - ii. Б) размерной величиной?
16. Коэффициент трения качения является:
- i. А) безразмерной величиной;
 - ii. Б) размерной величиной?
17. Является ли проекция главного момента на главный вектор системы сил одинаковой в разных точках приведения системы сил?
- i. А) да;
 - ii. Б) нет.
18. На оси динамического винта главный вектор и главный момент системы сил:
- i. А) коллинеарны;
 - ii. Б) перпендикулярны.
19. Имеет ли система сил равнодействующую силу, когда главный вектор и главный момент системы сил перпендикулярны?
- i. А) да;
 - ii. Б) нет.
20. Каково количество условий равновесия тела в векторной форме при действии на него произвольной пространственной системы сил?
- i. А) 1;
 - ii. Б) 2;
 - iii. В) 3.
21. Каково количество условий равновесия тела в скалярной форме при действии на него произвольной пространственной системы сил?
- i. А) 1;
 - ii. Б) 2;
 - iii. В) 6.
22. Изменится ли центр параллельных сил при повороте всех сил на один и тот же угол вокруг их точек приложения?
- i. А) да;
 - ii. Б) нет.
23. Зависит ли положение центра тяжести однородного тела от плотности этого тела (т.е. от веса тела)?
- i. А) да;
 - ii. Б) нет.

II. Кинематика

24. Какое состояние механической системы изучает кинематика:
- А) равновесие;
 - Б) движение.
25. Используются ли понятия массы и силы в кинематике?
- А) да;
 - Б) нет.
26. Какие кинематические характеристики движения точки являются векторами:
- А) закон движения;
 - Б) траектория;
 - В) скорость;
 - Г) ускорение.

27. Какие системы координат являются криволинейными:
- А) полярные;
 - Б) цилиндрические;
 - В) сферические;
 - Г) декартовы.
28. Как направлен вектор скорости точки по отношению к траектории?
- А) по касательной;
 - Б) по нормали.
29. Равняется ли нулю ускорение при равномерном движении точки по прямой?
- А) да;
 - Б) нет.
30. Равняется ли нулю ускорение при равномерном движении точки по кривой?
- А) да;
 - Б) нет.
31. Являются ли одинаковыми траектории, скорости и ускорения точек тела при поступательном движении:
- А) да;
 - Б) нет.
32. Достаточно ли задание в виде функции от времени угла поворота тела при изучении движения тела вокруг неподвижной оси?
- А) да;
 - Б) нет.
33. Угловая скорость есть:
- А) вектор;
 - Б) скаляр.
34. Для тела с неподвижной точкой скорость произвольной точки тела есть:
- А) векторное произведение угловой скорости на радиус – вектор точки;
 - Б) скалярное произведение угловой скорости на радиус – вектор точки.
35. При движении тела вокруг неподвижной оси является ли: осестремительное ускорение точки тела нормальным ускорением, а вращательное ускорение точки тела касательным ускорением?
- А) да;
 - Б) нет.
36. Изменится ли угловая скорость при изменении полюса?
- А) да;
 - Б) нет.
37. Чему равна скорость мгновенного центра скоростей?
- А) векторному произведению угловой скорости тела на скорость центра масс;
 - Б) нулю.
38. Может ли быть количество мгновенных центров скоростей в каждый момент времени больше единицы?
- А) да;
 - Б) нет.
39. Где находится мгновенный центр скоростей при качении колеса без скольжения:
- А) в центре колеса;
 - Б) в точке касания колеса с неподвижным основанием.
40. Можно ли взять любую точку плоского сечения за полюс при нахождении скорости и ускорения других точек?
- А) да;
 - Б) нет.
41. Какие параметры определяют закон свободного движения тела:
- А) координаты полюса;

- Б) углы Эйлера;
В) координаты полюса и углы Эйлера.
42. Одинаковы ли проекции скоростей двух точек тела на прямую, проходящую через эти точки?
А) да;
Б) нет.
43. Зависят ли относительная скорость и относительное ускорение точек тела от движения подвижной системы координат?
А) да;
Б) нет.
44. Зависят ли переносная скорость и переносное ускорение точек тела от движения подвижной системы координат?
А) да;
Б) нет.
45. Абсолютная скорость точек тела является суммой относительной и переносной скоростей:
А) векторной (геометрической);
Б) скалярной.
46. Когда ускорение Кориолиса равно нулю?
А) Если векторы переносной угловой скорости и относительной скорости точки коллинеарны;
Б) ортогональны.
47. Абсолютная угловая скорость тела является суммой относительной и переносной угловых скоростей тела:
А) векторной (геометрической);
Б) скалярной.
48. Каково количество кинематических уравнений Эйлера?
А) 2;
Б) 3;
В) 6.

III. Динамика

1. Инерциальная система отсчета.
 - 1.1. Подвижная система.
 - 1.2. Неподвижная система.
 - 1.3. Система, которая не вращается.
 - 1.4. Двигается равномерно прямолинейно, поступательно.
2. Уравнения динамики материальной точки.
 - 2.1. $m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F}$,
 - 2.2. $f(x, y, z, t) = 0$,
 - 2.3. $x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$.
3. Количество движения материальной точки.
 - 3.1. $\mathbf{Q} = \sum_{k=1}^n m_k \mathbf{v}_k$.
 - 3.2. $\mathbf{q} = m\mathbf{v}$.
 - 3.3. Число независимых координат.
 - 3.4. Количество поступательных и вращательных движений.
4. Момент количества движения материальной точки.
 - 4.1. $\mathbf{M}(\mathbf{Q}) = \sum_{k=1}^n m_k \mathbf{r}_k \times \mathbf{v}_k$.

- 4.2. $\mathbf{g}_o = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$.
- 4.3. $\mathbf{q} = m\mathbf{v}$.
- 4.4. Количество вращательных движений.
5. Уравнения движения материальной точки по поверхности.
- 5.1. $m\ddot{\mathbf{r}} = f(x, y, z)$.
- 5.2. $m\ddot{\mathbf{r}} = \lambda f(x, y, z)$.
- 5.3. $m\ddot{x} = F_x + \lambda \frac{\partial f}{\partial x}$, $m\ddot{y} = F_y + \lambda \frac{\partial f}{\partial y}$, $m\ddot{z} = F_z + \lambda \frac{\partial f}{\partial z}$, $f(x, y, z) = 0$.
6. Определение центральной силы.
- 6.1. Сила, соединяющая два центра.
- 6.2. Сила, оказывающая наибольшее влияние на движение.
- 6.3. Сила, линия действия которой проходит через неподвижный центр.
- 6.4. Сила, вызывающая вращательное движение.
7. Закон всемирного тяготения Ньютона.
- 7.1. $m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F}$.
- 7.2. $m\ddot{\mathbf{r}} = m\mathbf{g}$.
- 7.3. $\mathbf{F} = m\mathbf{g}$.
- 7.4. $F = f \frac{mM}{r^2}$.
8. Сила инерции.
- 8.1. $\mathbf{F} = m\ddot{\mathbf{r}}$.
- 8.2. $\mathbf{F} = -m\ddot{\mathbf{r}}$.
- 8.3. $\mathbf{F} = 2m\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}$.
- 8.4. Сила, под действием которой точка совершает равномерное прямолинейное движение.
9. Маятник Фуко.
- 9.1. Тяжелая точка двигается в вертикальной плоскости.
- 9.2. Точка, движущаяся по поверхности сферы.
- 9.3. Точка, подвешенная на нити, движется под действием силы притяжения Земли, вращающейся вокруг полярной оси.
10. Уравнение движения точки переменной массы в векторном виде.
- 10.1. $\mathbf{F} = m\ddot{\mathbf{r}}$.
- 10.2. $\mathbf{F} = -m\ddot{\mathbf{r}}$.
- 10.3. $m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F} - \dot{m} \mathbf{v}$.
- 10.4. $m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F} - m \cdot \dot{\mathbf{r}}$.
11. Количество движения механической системы.
- 11.1. $Q = \sum_{k=1}^n m_k v_k$.
- 11.2. $Q = \sum_{k=1}^n m_k \mathbf{v}_k$.
- 11.3. Число независимых координат.
- 11.4. Количество поступательных и вращательных движений.
12. Момент инерции твердого тела относительно оси.
- 12.1. Произведение массы тела на квадрат расстояния до оси.
- 12.2. Произведение массы тела на расстояния до плоскости перпендикулярной оси.

12.3. Сумма произведений масс точек тела на квадраты расстояний до оси.

13. Кинетический момент твердого тела, вращающегося около неподвижной оси.

13.1. $\mathbf{r} \times m \dot{\mathbf{r}} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$.

13.2. $\mathbf{G} = \sum_{k=1}^n \mathbf{r}_k \times m_k \mathbf{v}_k$.

13.3. $G_x = J_{xx} \omega$.

13.4. $\frac{dG_x}{dt} = \sum_{k=1}^N m_k (y_k \dot{z}_k - z_k \dot{y}_k)$.

14. Кинетическая энергия механической системы.

14.1. $Q = \sum_{k=1}^n m_k v_k$.

14.2. $T = \frac{1}{2} m v^2$.

14.3. $T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N m_k v_k^2$

14.4. $T = \frac{1}{2} m v_C^2$.

15. Теорема об изменении количества движения механической системы.

15.1. $\frac{dQ}{dt} = \sum_{k=1}^n \mathbf{F}_k^i + \sum_{k=1}^n \mathbf{F}_k^e$.

15.2. $\sum_{k=1}^n m_k \frac{d}{dt} \mathbf{v}_k = \sum_{k=1}^n \left(\frac{d}{dt} m_k \right) \mathbf{v}_k$.

15.3. $\frac{dQ}{dt} = \sum_{k=1}^n \mathbf{F}_k^e$

15.4. $\frac{dQ}{dt} = \sum_{k=1}^n m_k \mathbf{v}_k$.

16. Теорема о кинетическом моменте механической системы.

16.1. $\mathbf{r} \times m \dot{\mathbf{r}} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$.

16.2. $\frac{d\mathbf{G}_o}{dt} = \sum_{k=1}^n \mathbf{r}_k \times \mathbf{F}_k^i + \sum_{k=1}^n \mathbf{r}_k \times \mathbf{F}_k^e$.

16.3. $\frac{d\mathbf{G}_o}{dt} = \sum_{k=1}^n \mathbf{r}_k \times \mathbf{F}_k^e$.

16.4. $\frac{dG_x}{dt} = \sum_{k=1}^N m_k (y_k \dot{z}_k - z_k \dot{y}_k)$.

17. Теорема о кинетической энергии механической системы.

17.1. $d \left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n m_k v_k^2 \right) = \sum_{k=1}^n \mathbf{F}_k d\mathbf{r}_k$.

$$17.2. \quad T = \frac{1}{2}mv^2.$$

$$17.3. \quad T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N m_k v_k^2$$

$$17.4. \quad T = \frac{1}{2}mv_C^2.$$

18. Уравнение движения твердого тела около неподвижной оси.

$$18.1. \quad \mathbf{r} \times m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}.$$

$$18.2. \quad \mathbf{G} = \sum_{k=1}^n \mathbf{r}_k \times m_k \mathbf{v}_k.$$

$$18.3. \quad \frac{d}{dt} J_{xx} \omega = \sum_{k=1}^n m \text{om}_{ox} (\mathbf{F}_k).$$

$$18.4. \quad \frac{dG_x}{dt} = \sum_{k=1}^N m_k (y_k \ddot{x}_k - z_k \ddot{y}_k).$$

19. Аналитическое выражение принципа Даламбера для материальной точки.

$$19.1. \quad -m\ddot{\mathbf{r}} + \mathbf{F} + \mathbf{R} = 0.$$

$$19.2. \quad m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F}.$$

$$19.3. \quad \frac{dD}{dt} = \sum_{k=1}^n F_k.$$

$$19.4. \quad \mathbf{F} + \mathbf{R} = 0.$$

20. Уравнения движения механической системы с голономными связями в прямоугольных координатах.

$$20.1. \quad m\ddot{\mathbf{r}} = f(x, y, z).$$

$$20.2. \quad m\ddot{\mathbf{r}} = \lambda f(x, y, z).$$

$$20.3. \quad m_k \ddot{\mathbf{r}}_k = F_{kx} + \sum_{\mu=1}^m \lambda_{\mu} \frac{\partial f_{\mu}}{\partial x_k}, \quad f_{\mu}(x, y, z, t) = 0, \quad \mu = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, 3N$$

21. Уравнения движения механической системы в обобщенных координатах.

$$21.1. \quad m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F} + \mathbf{R}.$$

$$21.2. \quad m\ddot{\mathbf{r}}_k = \mathbf{F}_k + \sum_{\mu=1}^m \lambda_{\mu} \frac{\partial f_{\mu}}{\partial \mathbf{r}_k}.$$

$$21.3. \quad \frac{dq_k}{dt} = v_k, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial v_k} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial q_k} \right) = Q_k, \quad k = 1, \dots, n.$$

$$21.4. \quad \mathbf{F} + \mathbf{R} = 0.$$

22. Уравнения движения механической системы в канонической форме.

$$22.1. \quad m\ddot{\mathbf{r}}_k = \mathbf{F}_k + \mathbf{R}_k.$$

$$22.2. \quad m\ddot{\mathbf{r}}_k = \mathbf{F}_k + \sum_{\mu=1}^m \lambda_{\mu} \frac{\partial f_{\mu}}{\partial \mathbf{r}_k}.$$

$$22.3. \quad \frac{dq_k}{dt} = v_k, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial v_k} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial q_k} \right) = Q_k, \quad k = 1, \dots, n.$$

$$\frac{dq_k}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_k}, \quad \frac{dp_k}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_k}, \quad H = H(q, p, t), \quad k = 1, \dots, n.$$

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.03.02

Директор института физических исследований и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза