

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем машиноведения
Российской академии наук
(ИПМаш РАН)

Одобрено на Ученом совете

Протокол № 10/22

«13»декабря 2022 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПМаш РАН, д.т.н.

В.А. Полянский

«14» декабря 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

Образовательная программа
«ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

Научные специальности:

1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Программу разработал: А.С. Смирнов

Форма обучения:

очная

Санкт-Петербург
2022

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Аналитическая механика» реализуется в рамках элективной (обязательной) дисциплины основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) для аспирантов очной формы обучения по образовательной программе «ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА» научные специальности: 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Рабочая программа разработана в соответствии с «Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 30.11.2021 № 2122) и «Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов» (утверждены приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 20.10.2021 № 951), и учебным планом программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по образовательной программе «ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА», научные специальности: 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Программа дисциплины «Аналитическая механика» по учебному плану предусматривает: лекции; практические (семинарские) занятия, в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме; самостоятельную работу, в том числе творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу. Текущая аттестация проводится в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой. Промежуточная аттестация осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме экзамена. Экзамен проводится во 2-ом семестре.

Дисциплина «Аналитическая механика» реализуется на первом курсе, продолжительность обучения – 2 семестра.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Аналитическая механика» - научить аспирантов методам построения математических моделей и расчетных схем механических систем различной природы и сложности, методам качественного и количественного анализа динамических систем, привить аспирантам навыки решения задач аналитической механики разнообразных объектов современной техники. В настоящее время аналитическая механика является одной из наиболее важных дисциплин в области общей механики и механики деформируемого твердого тела. Успешное изучение дисциплины предполагает сочетание

лекционных и практических занятий. На практических занятиях идет работа по закреплению теоретического материала и выработке навыка по решению практических заданий. Текущий контроль практических навыков и знаний аспирантов осуществляется на практических занятиях, как в устной, так и в письменной форме.

В рамках дисциплины «Аналитическая механика» рассматриваются основные физические модели и методы исследования механических систем с сосредоточенными и распределенными параметрами. Аппарат аналитической механики широко иллюстрируется решением современных технических задач, таких как задачи динамики энергетических и транспортных машин, механики сооружений, динамики систем управления.

При изучении дисциплины «Аналитическая механика» аспирант должен получить знания:

- об основных положениях и математических моделях аналитической механики;
- о содержании основных понятий аналитической механики;
- об особенностях применения методов аналитической механики при анализе конкретных объектов современной техники.

На основании этих знаний слушатель должен уметь:

- квалифицированно оперировать основными теоретическими понятиями курса;
- грамотно применять методы аналитической механики в прикладных задачах;
- выполнять необходимые расчетные задания при помощи современных аналитических и численных методов.

Курс «Аналитическая механика» формирует у аспирантов навыки:

- построения и анализа математических моделей и расчетных схем механических систем;
- работы с научной литературой;
- выполнения расчетных заданий;
- творческого подхода к постановке и исследованию разнообразных проблем динамики механических систем.

В этой связи необходимо выделить следующие основные задачи:

- развитие у слушателей представления о месте и роли аналитической механики при построении и анализе основных физических моделей и при исследовании равновесия и движения механических систем;
- приобретение опыта творческой работы по выбору адекватных расчетных схем разнообразных объектов современной техники и интерпретации их поведения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП

2.1. Учебная дисциплина «Аналитическая механика» входит в элективную часть ОП «ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА» и в факультативную часть ОП «Математическая робототехника и искусственный интеллект» по направлению подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИПМаш РАН.

2.2. Дисциплина «Аналитическая механика» связана с предшествующей подготовкой аспирантов в области математики и механики. Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки сформированные на предыдущих этапах получения высшего образования (магистратура или специалитет).

2.3. Дисциплина «Аналитическая механика» служит основой для работы над кандидатской диссертацией, сдачи кандидатского экзамена по специальной дисциплине, а также для развития навыков и умений в дальнейшей профессиональной деятельности.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития.

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования.

- владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;

- уметь логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь;

- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях;

- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией;

- уметь использовать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности;
- быть способным выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;
- быть готовым выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространенных в промышленности систем мирового уровня, и экспериментального оборудования для проведения механических испытаний;
- выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов;
- участвовать в работах по поиску оптимальных решений при создании отдельных видов продукции с учетом требований динамики и прочности, долговечности, безопасности жизнедеятельности, качества, стоимости, сроков исполнения и конкурентноспособности.

В результате изучения данной дисциплины аспирант должен **знать** основные уравнения и методы решения задач аналитической механики и теории колебаний; **уметь** свободно оперировать теоретическими положениями дисциплины, формализовать вербально поставленные задачи, использовать математические методы, правильно интерпретировать результаты расчетов и формулировать рекомендации по совершенствованию режимов работы механических систем; **владеть** навыками использования современных программных средств и применения методов математического и компьютерного моделирования для расчета механических систем.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Аналитическая механика» осваивается в 1-м и 2-м семестрах.

Виды учебной работы
Лекции
Лабораторные занятия

Практические занятия, семинары
в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме
Самостоятельная работа
в том числе творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа
Экзамены (подготовка, сдача)

Наименование разделов и тем:
Тема 1. Аналитическая механика как инструмент познания науки и техники
Тема 2. Малые колебания систем с одной степенью свободы
Тема 3. Малые колебания систем с конечным числом степеней свободы
Тема 4. Малые колебания систем с бесконечным числом степеней свободы
Тема 5. Основы теории нелинейных колебаний
Тема 6. Механика математического маятника
Тема 7. Механика сферического маятника
Тема 8. Основы динамики твердого тела
Тема 9. Движение по инерции твердого тела с одной неподвижной точкой
Тема 10. Движение тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой
Тема 11. Динамика негोलомонных систем
Тема 12. Небесная механика
Вид контроля: зачет, экзамен

Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
1. Аналитическая механика как инструмент познания науки и техники	
Предмет аналитической механики. Понятие механической системы. Основные элементы механических систем. Расчетные схемы и их математические модели. Принципы формирования математических моделей механических систем. Структурные особенности и классификация механических систем по их статическим, кинематическим и динамическим особенностям. Классификация степеней свободы механических систем и вопросы их рационального выбора. Схема решения задач аналитической механики.	Знать элементы механических систем. Уметь составлять расчетные схемы и анализировать математические модели. Владеть основными понятиями раздела.
2. Малые колебания систем с одной степенью свободы	
Малые колебания консервативной системы вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнения движения. Собственная частота колебаний. Влияние диссипативных сил на свободные колебания. Вынужденные колебания под действием гармонической силы. Метод комплексных амплитуд. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики. Резонанс.	Знать основы теории малых колебаний механических систем с одной степенью свободы. Уметь находить частоту малых колебаний, анализировать свободные и вынужденные колебания. Владеть основными понятиями раздела.
3. Малые колебания систем с конечным числом степеней свободы	
Малые колебания вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнений движения. Свободные колебания консервативной системы. Собственные частоты и формы главных колебаний. Ортогональность форм колебаний. Влияние диссипативных сил на свободные колебания. Диссипативная функция. Свойства корней характеристического уравнения. Вынужденные колебания под действием гармонических сил. Метод комплексных амплитуд. Резонанс. Гироскопические силы.	Знать основные способы математического описания колебаний механических систем со многими степенями свободы. Уметь составлять и анализировать математические модели механических систем со многими степенями свободы, определять частоты и формы колебаний. Владеть основными понятиями раздела.

Дифференциальные уравнения колебаний гироскопических систем. Собственные частоты и формы колебаний.	
4. Малые колебания систем с бесконечным числом степеней свободы	
Продольные колебания стержней. Волновое уравнение. Граничные и начальные условия. Собственные частоты и формы продольных колебаний. Ортогональность форм колебаний. Вынужденные продольные колебания, решение в виде ряда по формам свободных колебаний. Учет диссипативных сил. Дифференциальное уравнение изгибных колебаний стержня. Граничные и начальные условия. Собственные частоты и формы изгибных колебаний. Ортогональность форм колебаний. Вынужденные изгибные колебания. Вариационный принцип Гамильтона-Остроградского.	Знать дифференциальные уравнения продольных и изгибных колебаний стержней. Уметь определять собственные частоты и формы колебаний стержней. Владеть основными понятиями раздела.
5. Основы теории нелинейных колебаний	
Введение в теорию нелинейных колебаний. Основные методы приближенного решения нелинейных уравнений: метод гармонического баланса, метод гармонической линеаризации. Свободные колебания консервативной системы с нелинейной упругой характеристикой. Вынужденные колебания системы с нелинейной упругой характеристикой. Вынужденные колебания системы с нелинейными силами сопротивления. Автоколебания в механических системах.	Знать основные приближенные методы решения нелинейных уравнений. Уметь исследовать свободные и вынужденные колебания в нелинейных механических системах. Владеть основными понятиями раздела.
6. Механика математического маятника	
Свободные колебания математического маятника. Построение и анализ фазового портрета. Построение точного решения нелинейного уравнения в эллиптических функциях Якоби для случая колебательных движений. Зависимость периода колебаний от амплитуды. Приближенные формулы для периода колебаний при малых и больших амплитудах. Анализ круговращательных движений и вычисление периода ротаций. Движение маятника по сепаратрисе. Вероятностная оценка движения. Динамика нитевого маятника, определение запретной зоны на фазовом портрете. Диссипативные модели математического маятника: вязкое, сухое, квадратичное, внутреннее трение.	Знать основные свойства свободного движения математического маятника. Уметь давать классификацию консервативных и диссипативных режимов движения математического маятника и устанавливать их качественный характер точными и приближенными методами. Владеть основными понятиями раздела.
7. Механика сферического маятника	
Расчетная схема сферического маятника. Выбор обобщенных координат при исследовании малых и больших колебаний. Иерархия моделей сферического маятника: линейная, слабо-нелинейная, глобальная. Интегралы движения в декартовых и сферических координатах. Построение зоны возможных движений сферического маятника на плоскости интегральных констант. Исследование нутационного и прецессионного движения. Интегрирование уравнений движения в квадратурах. Вероятностная оценка движения. Диссипативные модели сферического маятника: вязкое, сухое, квадратичное, внутреннее трение.	Знать основные свойства свободного движения сферического маятника. Уметь составлять и анализировать консервативные и диссипативные модели сферического маятника. Владеть основными понятиями раздела.
8. Основы динамики твердого тела	
Введение в кинематику и динамику твердого тела. Углы Эйлера и их модификации: корабельные и самолетные углы. Угловая скорость твердого тела. Кинематические уравнения Эйлера. Моменты инерции твердого тела и эллипсоид инерции. Момент количества движения твердого тела и теорема о его изменении. Кинетическая энергия твердого тела и теорема о ее изменении.	Знать основы кинематики и динамики твердого тела. Уметь описывать движение твердого тела. Владеть основными понятиями раздела.
9. Движение по инерции твердого тела с одной неподвижной точкой	
Динамические уравнения Эйлера. Движение по инерции симметричного твердого тела с одной неподвижной точкой (случай Эйлера). Интегралы энергии и момента количества движения. Интерпретация решения при помощи катящихся конусов. Эпициклическая и перициклическая прецессия. Общий случай движения по инерции твердого тела с одной неподвижной точкой (случай Эйлера-Пуансо). Построение точного решения	Знать постановку задачи Эйлера о движении по инерции свободного твердого тела. Уметь использовать методы аналитической механики для решения задачи Эйлера. Владеть основными понятиями раздела.

задачи в эллиптических функциях Якоби. Геометрическая интерпретация Пуансо. Полодия, герполодия, плоскость Пуансо.	
10. Движение тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой	
Движение симметричного твердого тела, имеющего одну неподвижную точку (случай Лагранжа). Интегралы движения и его качественный анализ. Построение зоны возможных движений на плоскости интегральных констант. Классификация режимов движения. Синусоидальный, циклоидальный и петлеобразный случаи движения. Быстрая и медленная, регулярная и псевдoreгулярная прецессия. Случай большой скорости собственного вращения.	Знать постановку задачи Лагранжа о движении тяжелого твердого тела. Уметь использовать методы аналитической механики для решения задачи Лагранжа. Владеть основными понятиями раздела.
11. Динамика неголономных систем	
Движение твердого тела с неголономными связями. Понятие неголономной связи. Уравнения Лагранжа с неопределенными множителями для неголономных систем (уравнения Феррерса). Уравнения движения неголономных систем в квазикоординатах. Энергия ускорений, уравнения Аппеля. Прикладные задачи неголономной механики. Задача о движении скейтборда.	Знать основные виды уравнений движения неголономных систем. Уметь применять их для решения прикладных задач. Владеть основными понятиями раздела.
12. Небесная механика	
Основы небесной механики. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения. Траектории центра масс тела, движущегося в поле сил ньютонова притяжения. Классификация орбит: эллиптическая, гиперболическая, параболическая. Уравнение Кеплера. Задача двух тел. Орбитальные маневры космического аппарата. Главный вектор и главный момент сил тяготения, приложенных к твердому телу. Уравнения движения и малые колебания искусственного спутника относительно центра масс.	Знать основы и законы небесной механики. Уметь классифицировать орбиты и анализировать орбитальные маневры космического аппарата. Владеть основными понятиями раздела.

Самостоятельная работа аспиранта

Самостоятельная работа аспирантов направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала и развитие практических умений. Традиционная самостоятельная работа аспирантов включает такие виды самостоятельной работы, как

- работа с лекционным материалом и рекомендованной учебной литературой;
- выполнение домашних заданий.

Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа аспирантов направлена на развитие комплекса интеллектуальных универсальных (общекультурных) и профессиональных умений, повышение творческого потенциала аспирантов.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины используются преимущественно традиционные образовательные технологии:

- лекции по теоретическому материалу,
- практические занятия с решением тестовых расчетных заданий;
- самостоятельная работа с рекомендованной учебной и научной литературой.

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Программой предусмотрено углубленное рассмотрение основных теоретических положений дисциплины, а также решение типовых задач.

Темы практических занятий	
1.	Основные элементы механических систем. Расчетные схемы и их математические модели.

2.	Малые колебания консервативной системы с одной степенью свободы вблизи положения устойчивого равновесия. Влияние диссипативных сил на свободные колебания. Вынужденные колебания.
3.	Свободные колебания консервативной системы со многими степенями свободы. Собственные частоты и формы колебаний. Влияние диссипативных сил на свободные колебания. Вынужденные колебания.
4.	Собственные частоты и формы продольных и изгибных колебаний стержней. Вынужденные продольные и изгибные колебания.
5.	Приближенные методы исследования свободных и вынужденных колебаний нелинейных механических систем.
6.	Консервативные и диссипативные модели математического маятника.
7.	Консервативные и диссипативные модели сферического маятника.
8.	Основы кинематики и динамики твердого тела. Применение теорем о движении твердого тела.
9.	Движение твердого тела по инерции с неподвижной точкой. Осесимметричный и общий случай.
10.	Движение тяжелого твердого тела с неподвижной точкой.
11.	Прикладные задачи динамики негोलонномных систем.
12.	Основы небесной механики. Классификация орбит. Орбитальные маневры космического аппарата.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендуемая литература

1. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
2. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука, ГРФМЛ, 1967. – 444 с.
3. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука, ГРФМЛ, 1968. – 560 с.
4. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
5. Ден-Гартог Дж. Механические колебания. М.: ГИФМЛ, 1960. – 580 с.
6. Магнус К. Колебания. Введение в исследование колебательных систем. М.: Мир, 1982. – 304 с.
7. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Теоретическая механика. Т.2. Динамика. М.: Наука, ГРФМЛ, 1983. – 640 с.
8. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Теоретическая механика. Т.3. Динамика несвободной системы и теория колебаний. Л., М.: ОНТИ ГТТИ, 1934. – 624 с.
9. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т.2. Динамика. М.: Наука, ГРФМЛ, 1966. – 664 с.
10. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т.3. Специальные главы механики. М.: Наука, ГРФМЛ, 1973. – 488 с.
11. Блехман И.И., Мышкис А.Д., Пановко Я.Г. Механика и прикладная математика. Логика особенностей приложений математики. М.: Наука, ГРФМЛ, 1983. – 328 с.
12. Смирнов А.С., Смольников Б.А. Механика сферического маятника. СПб: Политех-пресс, 2019. – 266 с.
13. Аппель П. Теоретическая механика. Т.1. Статика. Динамика точки. М.: ГИФМЛ, 1960. – 516 с.

14. Аппель П. Теоретическая механика. Т.2. Динамика системы. Аналитическая динамика. М.: ГИФМЛ, 1960. – 488 с.
15. Ламб Г. Теоретическая механика. Т.2. Динамика. М., Л.: ОНТИ ГТТИ, 1935. – 312 с.
16. Ламб Г. Теоретическая механика. Т.3. Более сложные вопросы. М., Л.: ОНТИ НКТП СССР, ГРОЛ, 1936. – 292 с.
17. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Физматлит. 1961. – 824 с.
18. Меркин Д.Р., Смольников Б.А. Прикладные задачи динамики твердого тела. СПб: изд-во С.-Петербургского ун-та, 2003. – 534 с.
19. Магнус К. Гироскоп, теория и применение. М.: Мир, 1974. – 528 с.
20. Мак-Миллан В.Д. Динамика твердого тела. М.: ИИЛ, 1951. – 468 с.
21. Раус Э. Динамика системы твердых тел. Т. 1. М.: Наука, ГРФМЛ, 1983. – 464 с.
22. Маркеев А.П. Теоретическая механика. М., Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2007. – 592 с.
23. Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Динамика неавтономных систем. М.: Наука, ГРФМЛ, 1967. – 520 с.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Оценка качества освоения дисциплины определяется зачетом и экзаменом по основным разделам дисциплины. Текущий контроль успеваемости, то есть проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении первого и второго семестров.

Перечень примерных вопросов для оценки освоения дисциплины:

1. Аналитическая механика как инструмент познания науки и техники.
2. Основные элементы механических систем. Расчетные схемы и их математические модели.
3. Структурные особенности и классификация механических систем.
4. Классификация степеней свободы механических систем и вопросы их рационального выбора.
5. Малые колебания консервативной системы с одной степенью свободы вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнений движения.
6. Влияние диссипативных сил на свободные колебания системы с одной степенью свободы.
7. Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы под действием гармонической силы.
8. Метод комплексных амплитуд. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики. Резонанс.

9. Малые колебания консервативной системы со многими степенями свободы вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнений движения.
10. Свободные колебания консервативной системы со многими степенями свободы. Собственные частоты и формы колебаний. Ортогональность форм колебаний.
11. Учет сил трения при колебаниях системы со многими степенями свободы. Диссипативная функция.
12. Вынужденные колебания системы со многими степенями свободы под действием гармонической силы.
13. Гироскопические силы. Дифференциальные уравнения движения гироскопических систем. Собственные частоты и формы колебаний гироскопических систем.
14. Продольные колебания стержней. Граничные и начальные условия.
15. Собственные частоты и формы продольных колебаний стержня. Ортогональность форм колебаний.
16. Вынужденные продольные колебания стержня. Решение в виде ряда по формам свободных колебаний.
17. Учет сил сопротивления при продольных колебаниях стержня.
18. Дифференциальное уравнение изгибных колебаний стержня. Граничные и начальные условия.
19. Собственные частоты и формы изгибных колебаний стержня. Ортогональность форм колебаний.
20. Вынужденные изгибные колебания стержня. Решение в виде ряда по формам свободных колебаний.
21. Учет сил сопротивления при изгибных колебаниях стержня.
22. Метод гармонического баланса в задаче о свободных колебаниях системы с нелинейной упругой характеристикой. Гармоническая линеаризация.
23. Вынужденные колебания системы с нелинейной упругой характеристикой под действием гармонической силы.
24. Вынужденные колебания в системе с нелинейными силами сопротивления под действием гармонической силы.
25. Автоколебания в механических системах.
26. Построение и анализ фазового портрета математического маятника. Вероятностная оценка движения математического маятника.
27. Анализ колебательных и круговращательных движений математического маятника. Движение по сепаратрисе.
28. Нитевой маятник. Определение границы зоны схода маятника со связи.
29. Диссипативные модели математического маятника.
30. Расчетная схема сферического маятника. Рациональный выбор обобщенных координат. Интегралы движения.
31. Анализ линейной и слабо-нелинейной моделей сферического маятника. Вероятностная оценка движения сферического маятника.
32. Анализ глобальной модели сферического маятника. Построение зоны возможных движений. Интегрирование уравнений движения в квадратурах.
33. Диссипативные модели сферического маятника.
34. Основы кинематики и динамики твердого тела. Углы Эйлера и их модификации. Кинематические уравнения Эйлера. Теоремы о движении твердого тела.

35. Задача Эйлера о движении твердого тела с неподвижной точкой по инерции. Постановка задачи и интегралы движения.
36. Осесимметричный случай Эйлера. Регулярная прецессия. Интерпретация решения при помощи катящихся конусов.
37. Общий случай Эйлера-Пуансо. Построение решения в эллиптических функциях. Геометрическая интерпретация Пуансо.
38. Задача Лагранжа о движении тяжелого твердого тела с неподвижной точкой. Постановка задачи и интегралы движения.
39. Построение зоны возможных движений в задаче Лагранжа. Классификация режимов движения.
40. Динамика неголономных систем. Понятие неголономной связи. Уравнения Феррера.
41. Уравнения Аппеля в квазикоординатах. Применение к решению задачи о динамике скейтборда.
42. Основы небесной механики. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения.
43. Траектория центра масс тела, движущегося в поле сил ньютонова притяжения. Классификация орбит. Уравнение Кеплера.
44. Задача двух тел.
45. Орбитальные маневры космического аппарата.
46. Главный вектор и главный момент сил тяготения, приложенных к твердому телу.
47. Уравнения движения и малые колебания искусственного спутника относительно центра масс.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Рекомендуется основной объем базовых знаний преподнести на лекциях и практических занятиях, а указанную литературу использовать для закрепления и расширения полученных знаний.

Также рекомендуется больше уделять внимания самостоятельной работе слушателей, в частности выполнению ими домашних расчётных заданий с тем, чтобы, ознакомившись на практических занятиях с методами решения подобных задач, они имели возможность закрепить практические навыки, работая в удобном режиме времени, пользуясь консультациями преподавателя на дальнейших практических занятиях по соответствующим темам.