

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

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Теория колебаний
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Геокосмические науки и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической механики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 1

Программу составил: В.В. Сидоренко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической механики 09.04.2020

Аннотация

Дисциплина опирается на результаты таких курсов, как классическая общая алгебра, теория обыкновенных дифференциальных уравнений, теоретическая механика, теория функций комплексного переменного. Особенностью изучения дисциплины является частое обращение к аппарату математического анализа и других смежных математических курсов, использование практически важных примеров из предметной области теоретической механики, физики, электротехники, акустики.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Формирование у слушателей единого и строгого физико-математического подхода к исследованию колебательных явлений различной природы. Изучение дисциплины «Теория колебаний» является обязательным элементом подготовки специалистов, имеющих дело со сложными естественными и техногенными системами.

Задачи дисциплины

Приобретение слушателями навыков построения математических моделей разнообразных колебательных процессов, встречающихся в природе и в технике.

Овладение современными численными и аналитическими методами исследования математических моделей колебательных процессов.

Воспитание умения соотносить результаты исследования формальной математической модели с поведением реальной системы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
	УК-3.2 Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Основные свойства колебательных процессов в нелинейных и неавтономных системах;
Условия возникновения и развития различных колебательных процессов;
Ситуации появления сложного (недетерминированного) поведения.

уметь:

Строить математические модели колебательных явлений;
 Выделять «управляющие» параметры, определяющие (качественно и количественно) свойства колебательных процессов в конкретных системах;
 Применять численные методы и методы теории возмущений для изучения колебательных явлений;
 Устанавливать соответствие между результатами исследования математической модели и поведением реальной системы.

владеть:

Численными и аналитическими методами исследования колебательных явлений.

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

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

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Качественный анализ движения в консервативной системе с одной степенью свободы	2			3
2	Уравнение Дюффинга	2			2
3	Квазилинейные системы	4			3
4	Релаксационные колебания	2			2
5	Динамика нелинейных автономных систем общего вида с одной степенью свободы	4			3
6	Элементы теории Флоке	4			2
7	Уравнение Хилла	2			3
8	Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой	2			2
9	Адиабатические инварианты	2			3
10	Динамика многомерных динамических систем	2			2
11	Уравнения Лоренца. Странный аттрактор	2			3
12	Одномерные отображения. Универсальность Фейгенбаума	2			2
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 8 (Весенний)

1. Качественный анализ движения в консервативной системе с одной степенью свободы

- Метод фазовой плоскости.
- Зависимость периода колебаний от амплитуды. Мягкие и жесткие системы.

2. Уравнение Дюффинга

- Выражение для общего решения уравнения Дюффинга в эллиптических функциях.

3. Квазилинейные системы

- Переменные Ван-дер-Поля.
- Метод усреднения.

4. Релаксационные колебания

- Уравнение Ван-дер-Поля.
- Сингулярно возмущенные системы дифференциальных уравнений.

5. Динамика нелинейных автономных систем общего вида с одной степенью свободы

- Понятие «грубости» динамической системы.
- Бифуркации динамических систем.

6. Элементы теории Флоке

- Нормальные решения и мультипликаторы линейных систем дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами.
- Параметрический резонанс.

7. Уравнение Хилла

- Анализ поведения решений уравнения типа Хилла как иллюстрация применения теории Флоке к линейным гамильтоновым системам с периодическими коэффициентами.
- Уравнение Матье как частный случай уравнения типа Хилла. Диаграмма Айнса-Стретта.

8. Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой

- Связь амплитуды колебаний с величиной вынуждающей силы, прикладываемой к системе.
- Изменение режима движения при изменении частоты вынуждающей силы. Понятие о «динамическом» гистерезисе.

9. Адиабатические инварианты

- Переменные «действие-угол».
- Сохранение адиабатических инвариантов при качественном изменении характера движения.

10. Динамика многомерных динамических систем

- Понятие об эргодичности и перемешивании в динамических системах.
- Отображение Пуанкаре.

11. Уравнения Лоренца. Странный аттрактор

- Уравнения Лоренца как модель термоконвекции.
- Бифуркации решений уравнений Лоренца. Переход к хаосу.
- Фрактальная структура странного аттрактора.

12. Одномерные отображения. Универсальность Фейгенбаума

- Квадратичное отображение – простейшее нелинейное отображение.
- Периодические орбиты отображений. Бифуркации периодических орбит.

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

Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, маркерная доска, связь с Интернетом).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Асимптотические методы нелинейной механики [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Моисеев. — 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1981. — 400 с.

Дополнительная литература

1. Введение в теорию нелинейных колебаний [Текст] / Н. В. Бутенин, Ю. И. Неймарк, Н. А. Фужаев - М. Наука, 1976
2. Введение в синергетику [Текст] / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов учеб. пособие для вузов - М. Наука, 1990

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

1. <http://lib.mipt.ru> - сайт электронной библиотеки МФТИ
2. https://mipt.ru/education/chair/theoretical_mechanics/ - сайт кафедры теоретической механики МФТИ
3. <http://www.elibrary.ru/>

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

Для обеспечения лучшего освоения «Теории колебаний» необходимо иметь возможность наглядной демонстрации примеров численного моделирования колебательных процессов в различных системах.

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

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

Методическая литература:

1. Арнольд В.И., Козлов В.В., Нейштадт А.И. Математические аспекты классической и небесной механики. М.: Эдиториал УРСС, 2002.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Геокосмические науки и технологии
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
кафедра теоретической механики
курс: 4
квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: В.В. Сидоренко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
	УК-3.2 Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория колебаний» обучающийся должен:

знать:

Основные свойства колебательных процессов в нелинейных и неавтономных системах;
Условия возникновения и развития различных колебательных процессов;
Ситуации появления сложного (недетерминированного) поведения.

уметь:

Строить математические модели колебательных явлений;
Выделять «управляющие» параметры, определяющие (качественно и количественно) свойства колебательных процессов в конкретных системах;
Применять численные методы и методы теории возмущений для изучения колебательных явлений;
Устанавливать соответствие между результатами исследования математической модели и поведением реальной системы.

владеть:

Численными и аналитическими методами исследования колебательных явлений.

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

Пример типовых контрольных вопросов:

1. Бифуркации динамических систем
2. Основные понятия теории Флоке: нормальные решения и мультипликаторы линейных систем дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами
3. Параметрический резонанс
4. Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой: связь амплитуды колебаний с величиной вынуждающей силы, прикладываемой к системе
5. Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой: изменение режима движения при изменении частоты вынуждающей силы
6. Понятие о «динамическом» гистерезисе.
7. Переменные «действие-угол»
8. Адиабатические инварианты систем с медленно изменяющимися параметрами

9. Понятие об эргодичности и перемешивании в динамических системах
10. Отображение Пуанкаре
11. Уравнения Лоренца. Странный аттрактор
12. Одномерные отображения. Универсальность Фейгенбаума

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

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Уравнение Дюффинга и его свойства
2. Как построить фазовый портрет консервативной системы?

Билет 2.

1. Уравнение Матье и его свойства. Диаграмма Айнса-Стретта
2. Метод усреднения в системах с одной быстрой переменной

Билет 3.

1. Уравнение Ван-дер-Поля и его свойства
2. Эллиптические функции Якоби $\operatorname{sn}(u,k)$, $\operatorname{sn}(u,k)$, $\operatorname{dn}(u,k)$: определение, свойства, примеры использования

Билет 4.

1. Уравнение Хилла и его свойства
2. Релаксационные колебания: определение и примеры

Билет 5.

1. Как зависит период колебаний от амплитуды в мягких и жестких системах?
2. Понятие «грубости» динамической системы.

Критерии оценивания

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.