

**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 устойчивости
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Современная механика и робототехника кафедра теоретической механики кафедра теоретической механики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: М.А. Муницына, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической механики 09.04.2020

Аннотация

В курсе представлены основные результаты классической теории устойчивости. Изложены основные теоремы об устойчивости и неустойчивости положений абсолютного и относительного равновесия, а также стационарных движений механических систем. Особое внимание уделено вопросам ветвления и бифуркаций. Рассмотрены также понятия орбитальной устойчивости и устойчивости по части переменных.

Теоретические положения иллюстрируются на примере задач об устойчивости положений относительного равновесия спутника на круговой орбите, стационарных движений тела в центральном гравитационном поле, точек либрации в ограниченной круговой задаче трех тел, перманентных вращений тяжелого твердого тела с неподвижной точкой, стационарных движений симметричного волчка на гладкой и абсолютно шероховатой плоскости, равномерных вращений несимметричного тела (кельтского камня) на плоскости с трением.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью дисциплины является формирование у студента способности физически корректно ставить задачи теоретической и прикладной механики, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о движении сложных механических систем.

Задачи дисциплины

Задачи дисциплины состоят в изучении основных принципов и методов теории устойчивости, разборе классических и современных иллюстрирующих примеров и формирование у студентов достаточных знаний для анализа соответствующих математических задач и задач механики.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

основные понятия теории устойчивости.

уметь:

решать стандартные задачи по теории устойчивости.

владеть:

методами теории устойчивости.

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	Основные понятия теории устойчивости движения	2	2		2
2	Функции Ляпунова и функции класса Хана	2	2		2
3	Теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости и неустойчивости по первому приближению	2	2		2
4	Понятие о критических случаях	2	2		2
5	Устойчивость положений равновесия консервативных голономных систем	2	2		2
6	Влияние диссипативных и гироскопических сил на устойчивость положений равновесия	2	2		2
7	Устойчивость по части переменных	2	2		2
8	Устойчивость стационарных движений консервативных голономных систем с циклическими координатами	2	2		2
9	Соответствие относительных равновесий и стационарных движений	2	2		2
10	Ветвление положений равновесия и стационарных движений	2	2		2
11	Общая теория Рауса устойчивости стационарных движений	2	2		2
12	Устойчивость линейных периодических систем	2	2		2
13	Орбитальная устойчивость периодических движений стационарных систем	2	2		2
14	Регулярно возмущенные системы	2	2		2
15	Метод усреднения систем в стандартной форме Боголюбова	2	2		2
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Основные понятия теории устойчивости движения

Основные понятия теории устойчивости движения. Уравнения возмущенного движения.

2. Функции Ляпунова и функции класса Хана

Функции Ляпунова и функции класса Хана. Основные теоремы прямого метода Ляпунова для неавтономных систем. Метод Четаева построения функций Ляпунова.

3. Теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости и неустойчивости по первому приближению

Теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости и неустойчивости по первому приближению. Критерии Рауса-Гурвица и Джури.

4. Понятие о критических случаях

Понятие о критических случаях и их связь с ветвлением решений. Особенный случай нескольких нулевых корней

5. Устойчивость положений равновесия консервативных голономных систем

Устойчивость положений равновесия консервативных голономных систем. Теорема Лагранжа и понятие о ее обращении. Коэффициенты устойчивости и степень неустойчивости по Пуанкаре.

6. Влияние диссипативных и гироскопических сил на устойчивость положений равновесия

Влияние диссипативных и гироскопических сил на устойчивость положений равновесия. Теоремы Кельвина-Четаева, вековая и временная устойчивость. Устойчивость относительных равновесий обобщенно-консервативных голономных систем.

7. Устойчивость по части переменных

Устойчивость по части переменных. Теоремы Румянцева об устойчивости и асимптотической устойчивости по части переменных.

8. Устойчивость стационарных движений консервативных голономных систем с циклическими координатами

Устойчивость стационарных движений консервативных голономных систем с циклическими координатами. Теорема Рауса и понятие о ее обращении.

9. Соответствие относительных равновесий и стационарных движений

Соответствие относительных равновесий и стационарных движений и соотношение условий их устойчивости.

10. Ветвление положений равновесия и стационарных движений

Ветвление положений равновесия и стационарных движений. Бифуркационные диаграммы Пуанкаре-Четаева и Смейла.

11. Общая теория Рауса устойчивости стационарных движений

Общая теория Рауса устойчивости стационарных движений. Теорема Рауса для систем с симметрией и ее модификации.

12. Устойчивость линейных периодических систем

Устойчивость линейных периодических систем. Теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости и неустойчивости по первому приближению для периодических систем. Критерий локализации корней полиномов внутри единичного круга.

13. Орбитальная устойчивость периодических движений стационарных систем

Орбитальная устойчивость периодических движений стационарных систем. Теоремы Ляпунова и Пуанкаре.

14. Регулярно возмущенные системы

Регулярно возмущенные системы. Периодические решения периодических систем. Метод Пуанкаре. Периодические решения автономных систем.

15. Метод усреднения систем в стандартной форме Боголюбова

Метод усреднения систем в стандартной форме Боголюбова. Усреднение в одночастотных системах. Критический случай пары чисто мнимых корней и его связь с рождением периодических движений.

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

Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Устойчивость движения [Текст] / Н. Г. Четаев - М. Гостехиздат, 1946
2. Общая задача об устойчивости движения [Текст] / А. М. Ляпунов, -М. ; Л., Гостехиздат, 1950
3. Теория устойчивости движения [Текст] / И. Г. Малкин, -М, Едиториал УРСС, 2004
4. Прямой метод Ляпунова в теории устойчивости [Текст] / Н. Руш, П. Абетс, М. Лалуа, Stability theory by Liapunov's direct method, пер. с англ. В. Н. Рубановского, В. С. Сергеева, С. Я. Степанова, -М., Мир, 1980
5. Устойчивость и стабилизация движения по отношению к части переменных [Текст] / В. Румянцев, А. С. Озиранер, -М., Наука, 1987
6. Устойчивость стационарных движений в примерах и задачах [Текст] : уч. пособие для вузов : доп. Гос. ком. СССР / В. Н. Рубановский, В. А. Самсонов. — М. : Наука, 1988. — 304 с.

Дополнительная литература

1. Малые колебания и устойчивость движения [Текст] / П. А. Кузьмин - М. Наука, 1973

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

<http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтех

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук

https://mipt.ru/education/chair/theoretical_mechanics/ - сайт кафедры теоретической механики МФТИ

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций, а также программные пакеты Wolfram Mathematica и Matlab.

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

Успешное освоение курса требует большой 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);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях,
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Современная механика и робототехника кафедра теоретической механики кафедра теоретической механики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: М.А. Муницына, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория устойчивости» обучающийся должен:

знать:

основные понятия теории устойчивости.

уметь:

решать стандартные задачи по теории устойчивости.

владеть:

методами теории устойчивости.

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

- 1) Построить бифуркационные диаграммы Смейла (Пуанкаре-Четаева) в задаче об относительных равновесиях (стационарных движениях) физического маятника на вращающейся вокруг вертикали оси подвеса (на оси, которая может вращаться вокруг вертикали).
- 2) Для нелинейных систем дифференциальных уравнений найти периодические решения соответствующей осредненной системы и исследовать их на устойчивость.
- 3) Используя метод усреднения приближенно решить систему дифференциальных уравнений.

Примеры курсовых:

- 1) Провести анализ устойчивости конкретной механической системы
- 2) Построить бифуркационную диаграмму конкретной механической системы
- 3) Провести линеаризацию механической системы в окрестности положения равновесия

4) Используя прямой метод Ляпунова провести анализ устойчивости

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

1. Построить бифуркационные диаграммы Смейла в задаче об относительных равновесиях физического маятника на вращающейся вокруг вертикали оси подвеса
2. Построить бифуркационные диаграммы Смейла в задаче о стационарных движениях физического маятника на вращающейся вокруг вертикали оси подвеса
3. Построить бифуркационные диаграммы Смейла в задаче о стационарных движениях физического маятника на оси, которая может вращаться вокруг вертикали.
4. Для нелинейных систем дифференциальных уравнений найти периодические решения соответствующей осредненной системы и исследовать их на устойчивость.
5. Оценить погрешность усредненного решения
6. Найти адиабатические инварианты системы

Критерии оценивания

Зачет 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, возможно, с недочетами и неточностями.

Незачет выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний (или их полное отсутствие), допускающему грубые ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеющему основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяющему полученные знания даже в стандартной ситуации.

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

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

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

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