

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Физико-математический институт

Авторы-составители: **Скачкова Елена Александровна**

Рабочая программа дисциплины

ТЕОРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Код УМК 101738

Утверждено
Протокол №1
от «19» июня 2024 г.

Пермь, 2024

1. Наименование дисциплины

Теория устойчивости динамических систем

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.03.04** Прикладная математика

направленность Интеллектуальный анализ данных, программирование и искусственный интеллект

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Теория устойчивости динамических систем** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.03.04 Прикладная математика (направленность: Интеллектуальный анализ данных, программирование и искусственный интеллект)

ОПК.1 Способен применять знание фундаментальной математики и естественно-научных дисциплин при решении задач в области естественных наук и инженерной практике

Индикаторы

ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания, полученные в области математических наук, и использует их в профессиональной деятельности

ПК.1 Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований

Индикаторы

ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований

ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований

4. Объем и содержание дисциплины

Направление подготовки	01.03.04 Прикладная математика (направленность: Интеллектуальный анализ данных, программирование и искусственный интеллект)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	6
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	56
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	28
Самостоятельная работа (ак.час.)	88
Формы текущего контроля	Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (6 триместр)

Тематический план

Наименование тем и разделов	Всего ак.час	Аудиторные занятия			самостоятельная работа
		лекции	лабораторные занятия	практические занятия	
1 триместр	144	28	0	28	88
Дополнительные главы теории устойчивости.	144	28	0	28	88
Раздел 1. Классические исследования по экстремальным признакам устойчивости	56	12	0	12	32
Устойчивость равновесия консервативных систем	14	4	0	4	6
Стационарное движение и условия его устойчивости	14	4	0	2	8
Асимптотическая устойчивость	16	4	0	4	8
Коллоквиум 1	12	0	0	2	10
Раздел 2. Минимаксные признаки устойчивости	44	8	0	10	26
Системы с кинематическим возбуждением вибрации	16	4	0	4	8

Наименование тем и разделов	Всего ак. час	Аудиторные занятия			самостоятельная работа
		лекции	лабораторные занятия	практические занятия	
Минимаксный признак устойчивости Стрижак	16	4	0	4	8
Коллоквиум 2	12	0	0	2	10
Раздел 3. Системы с самосинхронизирующимися объектами. Интегральные признаки устойчивости синхронных движений	44	8	0	6	30
Интегральные признаки устойчивости синхронных движений	18	4	0	4	10
Самосинхронизация дебалансных вибровозбудителей	12	2	0	2	8
Коллоквиум 3	14	2	0	0	12

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Теория устойчивости динамических систем.

Раздел 1. Классические исследования по экстремальным признакам устойчивости

Устойчивость равновесия консервативных систем

Устойчивость положения равновесия консервативных систем. Определение области устойчивости вертикального положения равновесия, двойного маятника. Обратимость теоремы Лагранжа. Теоремы Ляпунова и теорема Четаева о неустойчивости положения равновесия.

Стационарное движение и условия его устойчивости

Циклические и позиционные координаты. Преобразование Рауса. Стационарное движение и условия его устойчивости. Теоремы Рауса и Ляпунова об устойчивости стационарных движений. Устойчивость вращения диска вокруг вертикали. Устойчивость стационарного движения конического маятника. Устойчивость стационарных движений центра масс искусственного спутника Земли. Устойчивость регулярной прецессии тяжелого гироскопа.

Асимптотическая устойчивость

Асимптотическая устойчивость положения равновесия. Геометрическая интерпретация. Диссипативные и определенно-диссипативные системы. Теорема Ляпунова об устойчивости и асимптотической устойчивости положения равновесия склерономной системы.

Коллоквиум 1

Устойчивость равновесия консервативных систем. Стационарное движение и условия его устойчивости. Асимптотическая устойчивость.

Раздел 2. Минимаксные признаки устойчивости

Системы с кинематическим возбуждением вибрации

Системы с кинематическим возбуждением вибрации. Теорема Малкина о существовании и устойчивости почти периодических и периодических решений механических систем. Минимаксный признак устойчивости. Теорема Блехмана.

Минимаксный признак устойчивости Стрижак

Теорема Стрижак. Устойчивость колебаний математического маятника около верхнего положения равновесия. Вибрационный момент маятника. Условия устойчивой стабилизации маятника под углом к вертикали. Динамическая устойчивость положений равновесия двойного маятника при вертикальных колебаниях точки опоры. Стабилизация верхнего положения равновесия маятника за счет изменения длины маятника. Устойчивость вертикального волчка. Устойчивость связки твердого тела и материальной точки в орбитальной системе координат.

Коллоквиум 2

Системы с кинематическим возбуждением вибрации. Минимаксный признак устойчивости Стрижак.

Раздел 3. Системы с самосинхронизирующимися объектами. Интегральные признаки устойчивости синхронных движений

Интегральные признаки устойчивости синхронных движений

Системы с самосинхронизирующимися объектами. Интегральные признаки устойчивости (экстремальные свойства) синхронных движений. Системы квазиконсервативных объектов. Почти изохронные объекты – квазилинейные осцилляторы. Исследование устройств с самосинхронизирующимися вибровозбудителями.

Самосинхронизация дебалансных вибровозбудителей

Самосинхронизация двух дебалансных вибровозбудителей на мягко амортизированном плоско колеблющемся твердом теле. Закономерности и парадоксы самосинхронизации дебалансных вибровозбудителей. Способы принудительной синхронизации. Приложения интегральных признаков устойчивости.

Коллоквиум 3

Интегральные признаки устойчивости синхронных движений. Самосинхронизация дебалансных вибровозбудителей.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Демидович Б. П. Лекции по математической теории устойчивости: учебное пособие для математических и физических специальностей вузов/Б. П. Демидович.-Санкт-Петербург:Лань,2008, ISBN 978-5-8114-0891-7.-480.

Дополнительная:

1. Меркин Д. Р. Введение в теорию устойчивости движения: учебное пособие для вузов/Д. Р. Меркин.- Санкт-Петербург:Лань,2003, ISBN 5-8114-0313-5.-304.-Библиогр.: с. 302-304

2. Блехман И. И. Что может вибрация?: О "Вибрационной механике" и вибрационной технике/И. И. Блехман.-Москва:Наука,1988.-208.

3. Меркин Д. Р.,Бауэр С. М.,Смирнов А. Л. Задачи по теории устойчивости:Учеб.пособие/Д. Р. Меркин, С. М. Бауэр, А. Л. Смирнов.-М.;Ижевск:Ин-т компьютерных исслед.,2002, ISBN 5-93972-110-9.-128.

4. Маркеев А. П. Теоретическая механика:Учеб. пособие/А. П. Маркеев.-М.;Ижевск:Регулярная и хаотическая динамика,2001, ISBN 5-93972-088-9.-592.-Библиогр.: с. 582

5. Блехман Илья Израилевич Вибрационная механика/Рец.М.З.Коловский.-М.:Физматлит,Наука,1994, ISBN 5-02-014283-2.-400.

6. Маланин В. В.,Стрелкова Н. А. Оптимальное управление ориентацией и винтовым движением твердого тела/В. В. Маланин, Н. А. Стрелкова.-Москва:НИИЦ "Регулярная и хаотическая динамика",2004, ISBN 5-93972-351-9.-204.-Библиогр.: с. 190

Директор библиотеки _____ (С.Н.Соларева)

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_301 Блехман И. И.

http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_301 Блехман И. И.

http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_301 Блехман И. И.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Теория устойчивости динамических систем** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);

- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;

- офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная: специализированной мебелью, презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения семинарских (практических) занятий требуется аудитория, оснащенная: специализированной мебелью, презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации аудитория, оснащенная: специализированной мебелью, ноутбуком/компьютером, меловой (и) или маркерной доской, проектором, экраном.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными

компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Теория устойчивости динамических систем**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ОПК.1

Способен применять знание фундаментальной математики и естественно-научных дисциплин при решении задач в области естественных наук и инженерной практике

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания, полученные в области математических наук, и использует их в профессиональной деятельности</p>	<p>ЗНАТЬ: основные понятия и утверждения дисциплины. УМЕТЬ: решать задачи в стандартных постановках, давать содержательную интерпретацию результатов вычислений, контролировать правильность вычислений, уметь применять полученные знания для решения некоторых прикладных задач. ВЛАДЕТЬ: основным понятийным аппаратом предмета.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Необходимые знания для освоения предмета отсутствуют. Студент не знает теоретических основ дисциплины, необходимых для формирования компетенции. Нет навыков выполнения расчетов.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных понятий предмета. Владение техникой выполнения конкретно поставленной задачи, но с большим количеством недочетов.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>В целом сформированные, но содержащие небольшие пробелы, знания теоретических основ. Владение техникой выполнения конкретно поставленной задачи, но с небольшими погрешностями при интерпретации результатов.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Студент показывает сформированные систематические знания теоретических основ, умение применить их на практике. Показывает успешное применение навыков мыслительной деятельности.</p>

ПК.1

Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>Знает понятие корректной постановки математической задачи, умеет математически корректно формулировать проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>Неудовлетворител Не знает понятие корректной постановки математической задачи, не умеет математически корректно формулировать проблемы научных и прикладных исследований</p> <p>Удовлетворительн Демонстрирует частично сформированное знание понятие корректной постановки математической задачи, частично сформированное умение математически корректно формулировать проблемы научных и прикладных исследований</p> <p>Хорошо Демонстрирует сформированное, но содержащее пробелы знание понятие корректной постановки математической задачи, сформированное, но содержащее пробелы умение математически корректно формулировать проблемы научных и прикладных исследований</p> <p>Отлично Демонстрирует сформированное знание понятие корректной постановки математической задачи, сформированное умение математически корректно формулировать проблемы научных и прикладных исследований</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p>ЗНАТЬ: основные понятия и утверждения дисциплины. УМЕТЬ: применять полученные знания для решения некоторых прикладных задач. ВЛАДЕТЬ: основным понятийным аппаратом предмета.</p>	<p>Неудовлетворител Не знает основные понятия и утверждения теории устойчивости. Не знает основных формул. Нет навыков решения задач в стандартных постановках.</p> <p>Удовлетворительн Общие, но неструктурированные знания основных понятий и утверждений предмета.</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Демонстрирует владение техникой выполнения конкретно поставленной задачи, но с большим количеством недочетов. Демонстрирует частично сформированное умение решать задачи в стандартных постановках. Имеет представление о теории устойчивости динамических систем.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Владеет основным понятийным аппаратом теории устойчивости. Демонстрирует в целом сформированные, но содержащие небольшие пробелы, знания теоретических основ устойчивости. Демонстрирует владение техникой выполнения конкретно поставленной задачи, но с небольшими погрешностями при вычислениях. Умеет контролировать правильность вычислений; самостоятельно приобретать новые знания.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Студент показывает сформированные систематические знания теоретических основ устойчивости, а также умение применить их на практике. Показывает успешное применение навыков мыслительной деятельности. Демонстрирует способность контролировать правильность вычислений; самостоятельно приобретать новые знания.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований	Коллоквиум 1 Письменное контрольное мероприятие	Знать основные методы исследования устойчивости положения равновесия и стационарного движения с использованием классических экстремальных признаков устойчивости. Владеть навыками проведения эффективных исследований устойчивости положения равновесия и стационарного движения с использованием классических экстремальных признаков устойчивости.
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований	Коллоквиум 2 Письменное контрольное мероприятие	Знать основные методы исследования устойчивости и асимптотической устойчивости почти периодических и периодических решений систем с кинематическим возбуждением вибрации. Владеть навыками проведения эффективных исследований конкретных прикладных задач механики с использованием минимаксных признаков устойчивости.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания, полученные в области математических наук, и использует их в профессиональной деятельности ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Коллоквиум 3 Итоговое контрольное мероприятие	Знать интегральные признаки устойчивости синхронных движений. Уметь обосновывать синхронизацию движений динамических объектов. Знать приложения интегральных признаков устойчивости к исследованиям резонансных движений. Владеть навыками использования интегральных признаков устойчивости синхронных движений при анализе проблем техники и естествознания.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Коллоквиум 1

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Знает определение устойчивости положения равновесия, теоремы об устойчивости и неустойчивости положений равновесия консервативных систем. Умеет применять изученные теоремы к исследованию устойчивости положений равновесия конкретных механических систем.	10
Знает определение асимптотической устойчивости положения равновесия, теоремы об асимптотической устойчивости положения равновесия склерономной системы. Умеет применять изученные теоремы к исследованию асимптотической устойчивости положений равновесия конкретных механических систем.	10
Знает определение стационарного движения, теоремы Рауса и Ляпунова. Умеет применять изученные теоремы к исследованию устойчивости стационарного движения конкретных механических систем.	10

Коллоквиум 2

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Знает определение систем с кинематическим возбуждением вибрации. Знает теоремы Малкина о существовании, устойчивости и асимптотической устойчивости почти периодических и периодических решений механических систем.	10

Знает минимаксный признак устойчивости Стрижак и умеет его использовать при исследовании математических моделей конкретных прикладных задач механики.	10
Знает минимаксный признак устойчивости Блехмана и умеет его использовать при исследовании асимптотической устойчивости квазиравновесия системы с кинематическим возбуждением вибрации	10

Коллоквиум 3

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Знает закономерности самосинхронизации двух дебалансных вибровозбудителей на мягко амортизированном плоско колеблющемся твердом теле. Знает закономерности и парадоксы самосинхронизации дебалансных вибровозбудителей, способы принудительной синхронизации. Владеет навыками применения изученных методов к исследованию устройств с самосинхронизирующимися вибровозбудителями.	16
Знает о методах исследования явлений синхронизации в природе и технике. Знает теоремы об устойчивости синхронных движений систем с почти равномерными вращениями и систем слабо связанных квазиконсервативных объектов.	12
Знает интегральные признаки устойчивости синхронных движений для квазилинейных осцилляторов. Владеет навыками использования интегральных признаков устойчивости при исследовании конкретных механических систем.	12