МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«Национальный исследовательский   
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»»**

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Гергель В.П.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| « |  | » |  | 2018 г. |

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Теория устойчивости**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**бакалавриат**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**01.03.02 Прикладная математика и информатика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Математическое моделирование и вычислительная математика**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**бакалавр**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2018г.

1. **Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина относится к вариативной част блока Б1 ОПОП и обязательна для освоения на четвертом году обучения (восьмой семестр).

**Целями освоения дисциплины являются**:

Цель курса состоит в изложении основ и языка теории устойчивости динамических систем, роли А.М. Ляпунова и А. Пуанкаре в создании фундамента этой теории. Закрепление полученных теоретических знаний по профессиональным дисциплинам на практических примерах.

При освоении дисциплины вырабатываются навыки математических подходов к проблеме анализа устойчивости динамических систем: умение логически мыслить, чётко формулировать физические и математические постановки задач, проводить анализ отдельных уравнений и модели в целом, получать решения и анализировать полученные результаты, применять полученные знания для решения актуальных практических задач.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускника)**

|  |  |
| --- | --- |
| Формируемые компетенции  (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине  характеризующие этапы формирования компетенций |
| ОПК-1  способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой | У1 (*ОПК-1*) *Уметь* использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой  З1 (*ОПК-1*) *Знать* иметь базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой  В1 (*ОПК-1*) *Владеть* опытом использования базовых знаний естественных наук, математики и информатики, основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой при исследовании динамических систем |
| ОПК-2  способность приобретать новые научные и профессиональные знания, используя современные образовательные и информационные технологии | У2 (*ОПК-2*) *Уметь*  приобретать новые научные и профессиональные знания, используя современные образовательные и информационные технологии  З2 (*ОПК-2*) *Знать* методы приобретения новых научных и профессиональных знаний на основе современные образовательных и информационных технологий  В2 (*ОПК-2*) *Владеть* опытом приобретения новых научных и профессиональных знаний на основе современных образовательных и информационных технологий |
| ПК-1  способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям | У1 (*ПК-1*) *Уметь*  формировать выводы по научным исследованиям  З1 (*ПК-1*) *Знать* методы сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований  В1 (*ПК-1*) *Владеть* опытом формирования выводов по научным исследованиям |
| ПК-2  способностью понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат | У2 (*ПК-2*) *Уметь*  применять современный математический аппарат  З2 (*ПК-2*) *Знать* и понимать современный математический аппарат, методы его совершенствования  В2 (*ПК-2*) *Владеть* опытом применения и совершенствования современного математического аппарата |

В результате освоения дисциплины студент должен получить необходимые знания, выработать умения, а при выполнении в последующем научно-исследовательской работы, производственной практики и выполнения выпускной квалификационной работы, приобрести необходимый опыт для полноценного формирования компетенций

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часов, из которых 62 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 30 часов научно-практические занятия, 2 часа мероприятия текущего контроляуспеваемости и мероприятия промежуточной аттестации), 82 часа составляет самостоятельная работа обучающегося (в т.ч. 45 часов – подготовка к экзамену).

Содержание дисциплины

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),**  **форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(часы)** | в том числе | | | | | |
| **контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося, часы** |
| **Занятия лекционного типа** | **Занятия семинарского типа** | **Занятия лабораторного типа** | **Консультации** | **Всего** |
| Очная | Очная | Очная | Очная | Очная | Очная | Очная |
| История развития теории устойчивости и качественной теории дифференциальных уравнений. Фазовое пространство и фазовые траектории |  | 4 | 2 |  |  |  | 2 |
| Устойчивость состояния равновесия (СР) автономных динамических систем (ДС), описываемых ОДУ *n*-го порядка. Уравнение возмущенного движения. Устойчивость по линейному приближению. Необходимый признак устойчивости. Критерии Рауса-Гурвица, Льенара-Шипара и Эрмита-Гурвица, критерий Михайлова. Метод Д-разбиений. Понятие о робастной устойчивости. |  | 10 | 6 |  |  |  | 12 |
| Первый и второй методы А.М. Ляпунова. Теоремы Ляпунова по исследованию устойчивости по первому приближению СР. Функции Ляпунова. Теоремы второго метода Ляпунова. Область притяжения асимптотически устойчивого СР и примеры ее построения. Дополнения Барбашина-Красовского к теореме Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева о неустойчивости СР. Устойчивость левитации. Сравнение первого и второго метода. |  | 14 | 6 |  |  |  | 16 |
| Замкнутые фазовые траектории (ЗФТ) Устойчивость по Ляпунову и орбитная устойчивость. Автоколебания. Критерии отсутствия ЗФТ. Теоремы Дюлака и Бендиксона. Примеры автоколебательных систем. |  | 10 | 4 |  |  |  | 6 |
| Метод точечных отображений. Неподвижная точка и ее устойчивость. Диаграммы Ламерея и теорема Кенига. Кусочно-линейные системы и скользящие движения. Исследования динамики судна с релейным законом управления. Эволюционные уравнения с малым параметром при старшей производной. Устойчивые и неустойчивые «быстрые» и «медленные» движения. Разрывные автоколебания |  | 6 | 4 |  |  |  | 6 |
| **Промежуточная аттестация – экзамен** | | | | | | | |

**4. Образовательные технологии**

Изучение дисциплины проводится в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов, в форме лекций, практических занятий и проведении контрольных мероприятий, зачета. Из традиционных методов изложения материала используется рассказ по теме. из активных и интерактивных методов преподавания применяются различные методы обсуждения индивидуальных случаев, различных точек зрения на те или иные вопросы, дискуссии.

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

В соответствии с учебной программой и тематическим планом освоения дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Предусмотрены следующие виды самостоятельной работы:

1. Повторение пройденного на занятиях материала.
2. Изучение тем самостоятельной подготовки по учебно0тематическому плану, решение соответствующих задач.
3. Выполнение контрольных работ и домашних заданий по темам учебно-методического плана.
4. Работа над основной и дополнительной литературой.
5. Изучение соответствующих сайтов по дисциплине в сети Интернет
6. Самостоятельная работа студентов при подготовке к экзамену.

Итоговой форме контроля успеваемости по данной дисциплине является экзамен.

Контрольные работы оцениваются по пятибалльной системе. На практических занятиях контроль осуществляется при ответе у доски и проверке домашних заданий

**Список вопросов для собеседования:**

1. Определения устойчивости по Ляпунову и асимптотической устойчивости СР. Геометрическая интерпретация в пространстве Миньковского.
2. Процесс линеаризации уравнений ДС около изолированного СР. Подстановка Эйлера и характеристическое уравнение.
3. Классические теоремы Ляпунова его первого метода.
4. Критерии устойчивости. Построение области Д(0) в пространстве параметров ДС.
5. Метод Д-разбиений по одному комплексному или двум действительным параметрам. Робастная устойчивость.
6. Предельная ограниченность ДС. Теорема о предельной ограниченности.
7. Знакопеременные и знакопостоянные функции. Функции Ляпунова.
8. Форомулировка и геометрическое доказательство теорем второго метода Ляпунова.
9. Методы построения функций Ляпунова. О построении области притяжения устойчивого СР.
10. Теорема Барбашина-Красовского. примеры.
11. Методы доказательства неустойчивости СР. Примеры.
12. Теорема Четаева. Примеры.
13. Сравнение первого и второго методов Ляпунова.
14. Изолированные замкнутые фазовые траектории. Орбитная устойчивость и устойчивость по Ляпунову замкнутых траекторий.
15. Автоколебательные режимы в динамических системах. Устойчивый предельный цикл – геометрический образ автоколебательного режима в фазовом пространстве.
16. Метод точечных отображений. Устойчивость неподвижной точки. Диаграмма Ламерея. Теорема Кенигса.
17. Опасные и безопасные границы области устойчивости.
18. Разрывные колебания и автоколебания в существенно нелинейных ДС. Участки *F+* и *F-* притяжения и отталкивания фазовых траекторий быстрых движений. Разрывные предельные циклы.
19. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**

*6.1.* Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Дисциплина направлена на развитие четырех компетенций:

* Способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с теорией колебаний (ОПК-1);
* Способность приобретать новые научные и профессиональные знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ОПК-2);
* Способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям (ПК-1).
* Способностью к применению методов математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач (ПК-2).

ОПК-1 - способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с теорией колебаний

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**\*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения (дескрипторы)** | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ЗНАТЬ: базовые принципы теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарное применение базовых методов решения задач теории устойчивости. | В целом успешное, но не систематическое применение положений методов решения задач теории устойчивости | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение положений методов решения задач теории устойчивости | Успешное и систематическое применение положений методов решения задач теории устойчивости |
| УМЕТЬ: применять математические методы для решения задач теории устойчивости | Отсутствие умений или частично освоенное умение формулировать и решать задачи теории устойчивости | В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение формулировать и решать задачи теории устойчивости. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение формулировать и решать задач теории устойчивости | Сформированное умение формулировать и решать задач теории устойчивости |
| ВЛАДЕТЬ: математическими методами решения задач теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарные навыки владения методами решения задач теории устойчивости. | Общие, но не структурированные навыки владения методами решения задач теории устойчивости. | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы навыки владения понятиями методами решения задач теории устойчивости.. | Сформированные систематические навыки владения понятиями методами решения задач теории устойчивости. |

ОПК-2 - способность приобретать новые научные и профессиональные знания, используя современные образовательные и информационные технологии

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**\*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения (дескрипторы)** | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ЗНАТЬ: современные информационные технологии и методы решения задач теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарное применение современных технологий и методов решения задач теории устойчивости. | В целом успешное, но не систематическое применение современных технологий и методов решения задач теории устойчивости | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы в знаниях современных технологий и методов решения задач теории устойчивости | Успешное и систематическое применение современных технологий и методов решения задач теории устойчивости |
| УМЕТЬ: применять современные информационные технологии к решению задач теории устойчивости | Отсутствие умений или частично освоенное умение формулировать и решать задачи теории устойчивости | В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение формулировать и решать задачи теории устойчивости. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение формулировать и решать задачи теории устойчивости | Сформированное умение формулировать и решать задачи теории устойчивости |
| ВЛАДЕТЬ: современными информационными технологиями и методами решения задач теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарные навыки владения современными технологиями и методами решения задач теории устойчивости. | Общие, но не структурированные навыки владения современными технологиями и методами решения задач теории устойчивости. | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы навыки владения современными технологиями, понятиями методами решения задач теории устойчивости.. | Сформированные систематические навыки владения понятиями, современными технологиями и методами решения задач теории устойчивости. |

ПК-1 -способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**\*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения (дескрипторы)** | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ЗНАТЬ: современные методы исследования в области решения прикладных задач теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарное применение современных методов решения прикладных задач теории устойчивости. | В целом успешное, но не систематическое применение современных методов решения прикладных задач теории устойчивости | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение п современных методов решения прикладных задач теории устойчивости | Успешное и систематическое применение современных методов решения прикладных задач теории устойчивости |
| УМЕТЬ: формулировать и решать современные прикладные задач теории устойчивости | Отсутствие умений или частично освоенное умение формулировать и решать прикладные задач теории устойчивости | В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение формулировать и решать прикладные задач теории устойчивости. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение формулировать и решать прикладные задач теории устойчивости | Сформированное умение формулировать и решать прикладные задач теории устойчивости |
| ВЛАДЕТЬ: современными методами решения прикладных задач теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарные навыки владения современными методами решения прикладных задач теории устойчивости. | Общие, но не структурированные навыки владения современными методами решения прикладных задач теории устойчивости. | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы навыки владения современными понятиями методами решения прикладных задач теории устойчивости. | Сформированные систематические навыки владения современными понятиями методами решения прикладных задач теории устойчивости. |

ПК-2 способностью к применению методов математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**\*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения (дескрипторы)** | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ЗНАТЬ: специализированные методы решения задач теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарное применение положений методов решения задач теории устойчивости. | В целом успешное, но не систематическое применение положений методов решения задач теории устойчивости | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение положений методов решения задач теории устойчивости | Успешное и систематическое применение положений методов решения задач теории устойчивости |
| УМЕТЬ: формулировать и решать прикладные задач теории устойчивости | Отсутствие умений или частично освоенное умение формулировать и решать прикладные задач теории устойчивости | В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение формулировать и решать прикладные задач теории колебаний. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение формулировать и решать прикладные задач теории колебаний | Сформированное умение формулировать и решать прикладные задач теории колебаний |
| ВЛАДЕТЬ: методами решения прикладных задач теории устойчивости. | Отсутствие знаний или фрагментарные навыки владения методами решения прикладных задач теории устойчивости. | Общие, но не структурированные навыки владения методами решения прикладных задач теории устойчивости. | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы навыки владения понятиями методами решения прикладных задач теории устойчивости.. | Сформированные систематические навыки владения понятиями методами решения прикладных задач теории устойчивости. |

* 1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

В соответствии с учебным планом контроль усвоения студентами содержания дисциплины проводится в форме экзамена.

На экзамене определяется:

* уровень усвоения студентом основного учебного материала по дисциплине;
* уровень понимания студентом изученного материала.

Экзамен включает устную и письменную часть. Письменная часть направлена на выявление степени освоения базовых понятий. Устная часть экзамена заключается в собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

| **Шкала оценок в соответствии со стандартом** | **Шкала оценок, рекомендованная к использованию в ННГУ** | **Описание оценки** |
| --- | --- | --- |
| Отлично | Превосходно | Отличная подготовка. Студент самостоятельно решает задачу, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление. |
| Отлично | Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы (задания) допускаются незначительные неточности. |
| Хорошо | Очень хорошо | Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями. |
| Хорошо | Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета). |
| Удовлетворительно | Удовлетворительно | Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя. |
| Неудовлетворительно | Неудовлетворительно | Студент показывает неудовлетворительное знание вопросов билета, основ курса и базовых понятий. |
| Плохо | Студент показывает полное незнание вопросов билета, основ курса и базовых понятий. |

* 1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

* индивидуальное собеседование;
* письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

* теоретические контрольные задания, включающих один или несколько вопросов
* решение задач.
  1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции

**Примеры контрольных работ**

*Контрольная работа №1*

1. Назовите 10 ключевых слов по теории устойчивости движения.
2. Чем отличается асимптотическая устойчивость СР от устойчивости?
3. Сформулируйте теоремы Ляпунова его «прямого» метода.

Задачи

1. Исследовать устойчивость нулевого СР ДС:   
   
2. Построить (для ) фазовые портреты ДС и исследовать возможность устойчивых разрывных предельных циклов для ДС . Является ли ДС автоколебательной?

*Контрольная работа №2*

1. Какова идея метода D-разбиений. Чему отвечает область D(к)?
2. Как можно установить неустойчивость изолированного СР ДС?
3. В чем заключается процесс линеаризации уравнений относительно СР?

Задачи

1. Найти все СР ДС и исследовать их на устойчивость: 
2. На плоскости параметров *a* и *b* выделите область *D*(0) нулевого СР ДС: . Что будет на границе *D*(0)?
   1. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ № 55-ОД от 13.02.2014,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ № 247-ОД от 10.06.2015.

1. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а)Основная литература

1. Горяченко В.Д. Элементы теории колебаний. 2-е изд. М.: Высшая школа, 2001; Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1995. (более 100 экз.)
2. Горяченко В.Д., Пригоровский А.Л., Сандалов В.М. "Задачи по теории колебаний, устойчивости движения и качественной теории дифференциальных уравнений (Часть 1. Второй (прямой) метод А.М.Ляпунова)" Нижний Новгород. Изд-во ННГУ 2007 г.   
   [http://www.unn.ru/books/resources.html Vadim.doc](http://www.unn.ru/books/resources.html%20%20Vadim.doc)
3. В.Д.Горяченко, А.Л.Пригоровский, В.М.Сандалов "Задачи по теории колебаний, устойчивости движения и качественной теории дифференциальных уравнений", Нижний Новгород. Изд-во ННГУ 2009 г.   
   [http://www.unn.ru/books/resources.html Vadim2.doc](http://www.unn.ru/books/resources.html%20Vadim2.doc)
4. В.Д.Горяченко , А.Л. Пригоровский, В.М. Сандалов Построение фазовых портретов динамических систем первого порядка. Бифуркации. Бифуркационные кривые. Учебное пособие. Часть 3.//Нижний Новгород. Изд-во ННГУ, 2014, 25 с. <http://www.unn.ru/books/met_files/Vadim3.pdf>

б) Дополнительная литература

1. Неймарк Ю.И. Математические модели в естествознании и технике. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2004. (более 30 экз.)

1. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории, оборудованные мультимедийной техникой (компьютер, проектор, экран), для проведения занятий лекционного и семинарского типа, компьютерный

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ОПОП ВО по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» (профиль «Математическое моделирование и вычислительная математика»).

Автор

к.ф.-м.н., доцент кафедры ТКиЭМ В.М.Сандалов

Заведующий кафедрой ТКиЭМ

д.ф.-м.н., проф. Л.А. Игумнов

Программа одобрена на заседании Ученого совета Института ИТММ ННГУ им. Н.И. Лобачевского от «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 года, протокол № \_\_.