

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Теория колебаний

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

01.03.03 - Механика и математическое моделирование

---

Направленность образовательной программы

Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.31 Теория колебаний относится к обязательной части образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции<br>(код, содержание компетенции)                                                                                                                                                                                          | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Наименование оценочного средства   |                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                   | Индикатор достижения компетенции<br>(код, содержание индикатора)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-1: Владеет методами математического и экспериментального исследования при анализе проблем механики на основе знаний фундаментальных физико-математических и компьютерных наук и навыками проблемно-задачной формы представления научных знаний | <p>ПК-1.1: Знает теоретические основы фундаментальных методов исследования проблем механики.</p> <p>ПК-1.2: Умеет применять полученные знания для анализа объекта исследования, определения целей и задач исследования, а также выбора корректного метода исследования научной проблемы.</p> <p>ПК-1.3: Владеет навыками научно-исследовательской деятельности в области механики, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой.</p> | <p>ПК-1.1: Знает основные понятия теории колебаний, современные методы исследования в области решения задач теории колебаний.</p> <p>ПК-1.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов теории колебаний к решению современных прикладных задач.</p> <p>ПК-1.3: Владеет навыками применения базовых знаний и современного математического аппарата теории колебаний при решении прикладных задач.</p> | Собеседование                      | Зачёт:<br>Контрольная работа |

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
|                                                | <b>очная</b> |
| <b>Общая трудоемкость, з.е.</b>                | <b>3</b>     |
| <b>Часов по учебному плану</b>                 | <b>108</b>   |
| в том числе                                    |              |
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> |              |
| - занятия лекционного типа                     | 32           |

|                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                          |            |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32         |
| - КСР                                                                    | 1          |
| самостоятельная работа                                                   | 43         |
| Промежуточная аттестация                                                 | 0<br>Зачёт |

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины                                                                 | Всего<br>(часы) | в том числе                                                                |                                                                            |             |                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                        |                 | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них |                                                                            |             | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|                                                                                                        |                 | Занятия лекционного типа                                                   | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего       |                                           |
|                                                                                                        | 0<br>Ф<br>0     | 0<br>Ф<br>0                                                                | 0<br>Ф<br>0                                                                | 0<br>Ф<br>0 | 0<br>Ф<br>0                               |
| Предмет теории колебаний. История развития теории колебаний.                                           | 7               | 2                                                                          | 2                                                                          | 4           | 3                                         |
| Динамические системы и их классификация. Классификация колебательных процессов.                        | 10              | 2                                                                          | 2                                                                          | 4           | 6                                         |
| Фазовое пространство и фазовые траектории                                                              | 14              | 4                                                                          | 4                                                                          | 8           | 6                                         |
| Качественные методы исследования нелинейных автономных систем ДС первого. Построение фазовых портретов | 12              | 4                                                                          | 4                                                                          | 8           | 4                                         |
| Качественные методы исследования нелинейных автономных систем ДС второго порядков.                     | 24              | 8                                                                          | 8                                                                          | 16          | 8                                         |
| Качественные методы исследования конкретных ДС второго порядков. Построение фазовых портретов          | 14              | 4                                                                          | 4                                                                          | 8           | 6                                         |
| Бифуркации ДС второго порядка. Бифуркационные значения параметров. Типы бифуркаций                     | 12              | 4                                                                          | 4                                                                          | 8           | 4                                         |
| Методы исследования периодических режимов в автономных системах                                        | 14              | 4                                                                          | 4                                                                          | 8           | 6                                         |
| Аттестация                                                                                             | 0               |                                                                            |                                                                            |             |                                           |
| КСР                                                                                                    | 1               |                                                                            |                                                                            |             | 1                                         |
| Итого                                                                                                  | 108             | 32                                                                         | 32                                                                         | 65          | 43                                        |

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Предмет теории колебаний. История развития теории колебаний.
2. Динамические системы и их классификация. Классификация колебательных процессов.
3. Фазовое пространство и фазовые траектории.
4. Качественные методы исследования нелинейных автономных систем ДС первого. Построение фазовых портретов.
5. Качественные методы исследования нелинейных автономных систем ДС второго порядков.
6. Качественные методы исследования конкретных ДС второго порядков. Построение фазовых портретов.

7. Бифуркации ДС второго порядка. Бифуркационные значения параметров. Типы бифуркаций.
8. Методы исследования периодических режимов в автономных системах.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

##### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Классификация колебательных систем и колебательных процессов.
2. Метод линеаризации. Грубые состояния равновесия на плоскости.
3. Метод усреднения.
4. Метод фазовой плоскости.
5. Метод медленно меняющихся амплитуд.
6. Метод гармонического баланса.
7. Собственные колебания в системах с одной степенью свободы.
8. Консервативные системы.
9. Колебания системы с "отталкивающей" силой.
10. Диссипативные системы.
11. Характеристики затухающего колебательного процесса.
12. Вынужденные колебания в системах с одной степенью свободы.
13. Колебания под действием гармонической силы.
14. Явления резонанса в разных областях физики и техники. Биения.
15. Колебания в системе со слабой нелинейностью.
16. Собственные колебания в нелинейной системе.
17. Параметрические колебания в системах с одной степенью свободы.
18. Системы с периодически меняющимися параметрами.
19. Общие свойства автоколебательных систем.
20. Предельные циклы.
21. Автоколебания.
22. Воздействие внешней гармонической силы на автоколебательную систему.

23. Условия периодичности и антипериодичности решений системы уравнений с периодическими коэффициентами.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

| Оценка     | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| зачтено    | Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя. |
| не зачтено | Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.                                                                                                                       |

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо                                                                                                                     | неудовлетворительно                                                                            | удовлетворительно                                                                                                            | хорошо                                                                                                                                                    | очень хорошо                                                                                                                          | отлично                                                                                                                 | превосходно                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                          | не зачтено                                                                                                                |                                                                                                |                                                                                                                              | зачтено                                                                                                                                                   |                                                                                                                                       |                                                                                                                         |                                                                                                                          |
| <u>Знания</u>                                                            | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки                          | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок                                                         | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок                                                         | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько не существенных ошибок                              | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.                                              | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.                                                               |
| <u>Умения</u>                                                            | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа              | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и не существенными недочетами, выполнен | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |

|               |                                                                                                            |                                                                                               |                                                                                          |                                                                                          |                                                                                        |                                                                                  |                                                                   |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|               |                                                                                                            |                                                                                               |                                                                                          | недочетами                                                                               |                                                                                        | ы все задания в полном объеме                                                    |                                                                   |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка     |                     | Уровень подготовки                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| зачтено    | превосходно         | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
|            | отлично             | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».                                                                                                                            |
|            | очень хорошо        | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»                                                                                                                        |
|            | хорошо              | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».                                                                                                                             |
|            | удовлетворительно   | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»                                     |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».                                                                                                                                                                                   |
|            | плохо               | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»                                                                                                                                                                                                  |

**5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

**5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

1. Какие типы СР возможны в автономных ДС первого порядка?
2. Какие бифуркации возможны в системах с полустепенью свободы?
3. Какие фазовые траектории называются сепаратрисами седла?

## Задачи

1. Динамика ротора описывается уравнением  $I\ddot{\phi} = M(\phi)$ , где  $\phi$  - угол, а  $M(\phi)$  - момент сил, действующих на вал,  $I$  - момент инерции.  $\dot{\phi} = \omega$ . Построить фазовый портрет и определить бифуркационные соотношения параметров, если  $M(\omega) = \beta\omega - \gamma\omega^3$ ,  $\beta > 0$ ,  $\gamma > 0$ .
2. Исследовать типы СР ДС в зависимости от параметра  $a$  и определить бифуркационное значение параметра  $\begin{cases} \dot{x} = x^2 + y - 1; \\ \dot{y} = xy \end{cases}$

## Контрольная работа №2

1. Какие типы замкнутых фазовых траекторий Вам известны? Какая фазовая траектория отвечает автоколебаниям?
2. Назовите особые траектории, необходимые для построения фазовых портретов ДС с одной степенью свободы?
3. К каким ДС применяется метод Ван-дер-Поля?

## Задачи

1. Построить фазовый портрет ДС  $\dot{x} = x(2 - 3x - y)$ ,  $\dot{y} = y(1 - u - v)$ . Является ли ДС грубой?
2. Построить (для  $0 < \mu < 1$ ) фазовые портреты ДС и исследовать возможность разрывных автоколебаний  $\begin{cases} \dot{x} = x(1 - x^2) - y; \\ \dot{y} = x. \end{cases}$  Является ли ДС автоколебательной?

## Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

| Оценка     | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| зачтено    | Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя. |
| не зачтено | Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.                                                                                                                      |

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

## Основная литература:

1. Андронов Александр Александрович. Теория колебаний / с предисл. Л. И. Мандельштама. - 2-е изд. - М. : Наука, 1981. - 568 с. : ил. - 2.60., 274 экз.
2. Горяченко Вадим Демьянович. Элементы теории колебаний : учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2001. - 395 с. - ISBN 5-06-004166-2 : 80.85., 2 экз.
3. Теория бифуркаций динамических систем на плоскости. - М. : Наука, 1967. - 487 с. : черт. - 2.58., 53 экз.
4. Бутенин Н. В. Введение в теорию нелинейных колебаний : [учеб. пособие для втузов]. - М. : Наука, 1976. - 384 с. - 0.67., 1 экз.
5. Неймарк Юрий Исаакович. Математические модели в естествознании и технике : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика" и специальности 010200 "Прикладная математика и информатика" / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2004. - 401 с. - ISBN 5-85746-496-X : 80.00., 156 экз.

## Дополнительная литература:

1. Горяченко Вадим Демьянович. Сборник задач по теории колебаний : учеб. пособие / ГГУ им. Н. И. Лобачевского. - Горький : ГГУ, 1982. - 79 с. : ил. - 0.10., 4 экз.

2. Горяченко Вадим Демьянович. Сборник задач по теории колебаний / Горьк. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Горький : [б. и.], 1982. - 76 с. : ил. - 0.19., 3 экз.
3. Горяченко Вадим Демьянович. Задачи по теории колебаний, устойчивости движения и качественной теории дифференциальных уравнений : учебное пособие. Ч. 1. Второй (прямой) метод А. М. Ляпунова / В. Д. Горяченко, А. Л. Пригоровский, В. М. Сандалов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - 2-е изд., перераб. и доп. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 48 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=824708&idb=0>.
4. Горяченко В. Д. Построение фазовых портретов динамических систем первого порядка. Бифуркации. Бифуркационные кривые : Учебно-методическое пособие. Ч. 3. Построение фазовых портретов динамических систем первого порядка. Бифуркации. Бифуркационные кривые / Горяченко В. Д., Пригоровский А. Л., Сандалов В. М. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2014. - 25 с. - Рекомендовано методической комиссией механико-математического факультета для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 010400 «Прикладная математика и информатика» 010800 «Механика и математическое моделирование». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730360&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/difgeometry.htm>
2. <http://www.unn.ru/books/resources.html> Vadim2.doc

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки 01.03.03 - Механика и математическое моделирование.

Автор(ы): Сандалов Владимир Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.