

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФизМех  
\_\_\_\_\_  
«14» июня 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**«Теория колебаний»**

Разработчик	Высшая школа механики и процессов управления
Направление (специальность) подготовки	15.03.03 Прикладная механика
Наименование ООП	15.03.03_03 Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг
Квалификация (степень) выпускника	<b>бакалавр</b>
Образовательный стандарт	<b>СУОС</b>
Форма обучения	<b>Очная</b>

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОП  
\_\_\_\_\_ А.Н. Матвиенко  
«22» мая 2024 г.

Соответствует СУОС  
Утверждена протоколом заседания  
высшей школы "ВШМиПУ"  
от «22» мая 2024 г. № 05-22

РПД разработал:  
Ассистент, к.ф.-м.н. А.С. Смирнов

# 1. Цели и планируемые результаты изучения дисциплины

## Цели освоения дисциплины

1. Обучение методам построения математических моделей и расчетных схем динамических систем различной природы и сложности;
2. Изучение методов качественного и количественного анализа динамических систем;
3. Приобретение навыков решения задач теории колебаний;
4. Получение первоначального опыта творческого подхода к выбору адекватных расчетных схем и к изучению динамики разнообразных объектов современной техники.

## Результаты обучения выпускника

Код	Результат обучения (компетенция) выпускника ООП
ОПК-1	Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности
ИД-1 ОПК-1	Применяет естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

## Планируемые результаты изучения дисциплины

### знания:

- естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

В учебном плане дисциплина «Теория колебаний» не связана ни с одним модулем учебного плана.

Изучение дисциплины базируется на результатах освоения следующих дисциплин:

- Теоретическая механика
- Механика материалов

### 3. Распределение трудоёмкости освоения дисциплины по видам учебной работы и формы текущего контроля и промежуточной аттестации

#### 3.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Трудоёмкость по семестрам
	Очная форма
Лекционные занятия	75
Практические занятия	56
Самостоятельная работа	59
Часы на контроль	32
Промежуточная аттестация (экзамен)	22
Промежуточная аттестация (зачет)	4
Курсовое проектирование	4
Общая трудоёмкость освоения дисциплины	252, ач
	7, зет

#### 3.2. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля и промежуточной аттестации	Количество по семестрам
	Очная форма
<b>Текущий контроль</b>	
Курсовые проекты, шт.	1
<b>Промежуточная аттестация</b>	
Зачеты, шт.	1
Экзамены, шт.	2

## 4. Содержание и результаты обучения

### 4.1 Разделы дисциплины и виды учебной работы

№ раздела	Разделы дисциплины, мероприятия текущего контроля	Очная форма		
		Лек, ач	Пр, ач	СР, ач
1.	Колебания систем с одной степенью свободы			
1.1.	Свободные колебания консервативных систем с одной степенью свободы	6	5	4
1.2.	Свободные колебания диссипативных систем с одной степенью свободы	6	5	5
1.3.	Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы	6	5	5
1.4.	Колебания нелинейных систем с одной степенью свободы	6	5	5
2.	Колебания систем с конечным числом степеней свободы			
2.1.	Свободные колебания консервативных систем с несколькими степенями свободы	6	4	4
2.2.	Свободные колебания диссипативных систем с несколькими степенями свободы	6	4	4
2.3.	Вынужденные колебания систем с несколькими степенями свободы	6	4	5
2.4.	Колебания регулярных систем	6	4	4
3.	Колебания систем с распределенными параметрами			
3.1.	Продольные колебания стержней, крутильные колебания валов, поперечные колебания струн	6	4	4
3.2.	Изгибные колебания балок	6	4	4
3.3.	Колебания подвешенной цепи	5	4	4
4.	Конечномерные модели колебательных систем			
4.1.	Физические модели с сосредоточенными массами и сосредоточенными податливостями	5	4	4
4.2.	Математические модели, основанные на методе Рунге и методе конечных элементов	5	4	5
<b>Итого по видам учебной работы:</b>		<b>75</b>	<b>56</b>	<b>59</b>

Зачеты, ач		0
Экзамены, ач		32
<b>Часы на контроль, ач</b>		32
<b>Курсовое проектирование</b>	4	
<b>Промежуточная аттестация (экзамен)</b>	22	
<b>Промежуточная аттестация (зачет)</b>	4	
<b>Общая трудоёмкость освоения: ач / зет</b>	252 / 7	

## 4.2. Содержание разделов и результаты изучения дисциплины

Раздел дисциплины	Содержание
<b>1. Колебания систем с одной степенью свободы</b>	
<b>1.1. Свободные колебания консервативных систем с одной степенью свободы</b>	<p>Малые колебания консервативной системы вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнения движения. Модель линейного осциллятора. Построение решения для малых колебаний. Собственная частота колебаний. Графическая иллюстрация движения. Фазовый портрет.</p>
<b>1.2. Свободные колебания диссипативных систем с одной степенью свободы</b>	<p>Влияние диссипативных сил вязкого трения на свободные колебания линейного осциллятора. Диссипативная функция Рэлея. Затухающе-колебательное, аperiодическое и предельно-аperiодическое движение. Построение решения и графической иллюстрации в каждом случае. Энергетическое соотношение. Фазовые портреты. Выбор оптимального демпфирования.</p>
<b>1.3. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы</b>	<p>Вынужденные колебания линейного осциллятора под действием гармонической силы при отсутствии диссипативных сил. Резонанс, биения. Случай наличия диссипативных сил. Метод комплексных амплитуд. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики. Вынужденные колебания осциллятора на вибрирующем основании. Вынужденные колебания осциллятора под действием негармонического периодического возбуждения, условие возникновения резонансных колебаний. Вынужденные колебания осциллятора под действием произвольной вынуждающей силы, решение в форме интеграла Дюамеля.</p>
<b>1.4. Колебания нелинейных систем с одной степенью свободы</b>	<p>Введение в теорию нелинейных колебаний. Свободные колебания консервативной системы с нелинейной упругой характеристикой. Мягкие и жесткие характеристики. Точное определение периода свободных колебаний. Фазовый портрет. Метод гармонического баланса. Приближенное определение периода свободных колебаний. Вынужденные колебания системы с нелинейной упругой характеристикой при отсутствии и наличии вязкого трения. Амплитудно-частотная характеристика. Устойчивые и неустойчивые режимы, срыв колебаний. Вынужденные колебания системы с нелинейными силами сопротивления. Автоколебания в механических системах.</p>
<b>2. Колебания систем с конечным числом степеней свободы</b>	

<p><b>2.1. Свободные колебания консервативных систем с несколькими степенями свободы</b></p>	<p>Малые колебания консервативной систем вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнений движения, их матричная запись. Свободные колебания. Собственные частоты и формы колебаний. Ортогональность форм колебаний. Модальная матрица, главные координаты. Нулевые и кратные корни частотного уравнения. Колебания упругих систем. Матрица коэффициентов влияния, обратный метод составления уравнений движения.</p>
<p><b>2.2. Свободные колебания диссипативных систем с несколькими степенями свободы</b></p>	<p>Влияние диссипативных сил на свободные колебания систем с несколькими степенями свободы. Случай малой диссипации. Независимость форм колебаний от диссипации при пропорциональном демпфировании.</p>
<p><b>2.3. Вынужденные колебания систем с несколькими степенями свободы</b></p>	<p>Вынужденные колебания систем с несколькими степенями свободы под действием гармонических сил при отсутствии и наличии диссипативных сил. Метод комплексных амплитуд. Резонанс. Динамический гаситель колебаний.</p>
<p><b>2.4. Колебания регулярных систем</b></p>	<p>Колебательные системы с регулярной структурой. Поперечные колебания грузов на натянутой нити. Собственные частоты и формы колебаний. Крутильные колебания дисков на безынерционном валу. Колебания цепочки линейных осцилляторов.</p>
<p><b>3. Колебания систем с распределенными параметрами</b></p>	
<p><b>3.1. Продольные колебания стержней, крутильные колебания валов, поперечные колебания струн</b></p>	<p>Продольные колебания стержней. Волновое уравнение. Граничные и начальные условия. Собственные частоты и формы продольных колебаний стержней с различными условиями закрепления. Ортогональность форм колебаний. Построение общего решения для свободных колебаний. Вынужденные продольные колебания. Учет диссипативных сил при продольных колебаниях стержней. Продольные колебания стержней переменного сечения. Крутильные колебания валов. Поперечные колебания струн. Применение принципа Гамильтона-Остроградского для вывода уравнений движения и силовых граничных условий распределенных систем.</p>

<p><b>3.2. Изгибные колебания балок</b></p>	<p>Дифференциальное уравнение изгибных колебаний балки. Граничные и начальные условия. Собственные частоты и формы изгибных колебаний балок с различными условиями закрепления. Ортогональность форм колебаний. Построение общего решения для свободных колебаний. Вынужденные изгибные колебания балок. Учет диссипативных сил при изгибных колебаниях балок. Неклассические модели изгибных колебаний балок. Изгибные колебания балок переменного сечения. Колебания балок на упругом основании и под действием продольной сжимающей силы.</p>
<p><b>3.3. Колебания подвешенной цепи</b></p>	<p>Дифференциальное уравнение поперечных колебаний цепи, подвешенной за один конец в поле силы тяжести, при отсутствии и наличии груза на другом конце. Собственные частоты и формы колебаний. Построение общего решения для свободных колебаний. Вынужденные колебания цепи. Колебания цепи переменной плотности.</p>
<p><b>4. Конечномерные модели колебательных систем</b></p>	
<p><b>4.1. Физические модели с сосредоточенными массами и сосредоточенными податливостями</b></p>	<p>Приближенные методы исследования колебаний стержней и балок. Физические модели. Модели с сосредоточенными массами. Схема гантели. Конечномерная модель продольных колебаний стержня, закрепленного на одном конце и свободного на другом конце. Простейшая модель с сосредоточенными массами для изгибных колебаний шарнирно-опертой балки. Модели с сосредоточенными податливостями для продольных колебаний стержней и изгибных колебаний балок. Конечномерные модели поперечных колебаний струн. Конечномерные модели подвешенной цепи, основанные на гантельной и стержневой схеме.</p>
<p><b>4.2. Математические модели, основанные на методе Ритца и методе конечных элементов</b></p>	<p>Метод Ритца для продольных колебаний стержней, изгибных колебаний балок и поперечных колебаний подвешенной цепи. Основы метода конечных элементов. Формирование матриц инерционных и квазиупругих коэффициентов. Применение метода конечных элементов к исследованию продольных колебаний стержней и изгибных колебаний балок.</p>

## 5. Образовательные технологии

Лекции по теоретическому материалу, практические занятия, самостоятельная работа с рекомендованной учебной и научной литературой

## 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрено

## 7. Практические занятия

№ раздела	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ач
		Очная форма
1.	Колебания систем с одной степенью свободы	14
2.	Колебания систем с конечным числом степеней свободы	14
3.	Колебания систем с распределенными параметрами	14
4.	Конечномерные модели колебательных систем	14
<b>Итого часов</b>		56

## 8. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоемкость, ач
	Очная форма
<b>Текущая СР</b>	
работа с лекционным материалом, с учебной литературой	8
опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	8
самостоятельное изучение разделов дисциплины	8
выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	8
подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	8
подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	8
<b>Итого текущей СР:</b>	48
<b>Творческая проблемно-ориентированная СР</b>	
выполнение расчётно-графических работ	0
выполнение курсового проекта или курсовой работы	9
поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
работа над междисциплинарным проектом	0
исследовательская работа, участие в конференциях, семинарах, олимпиадах	0
анализ данных по заданной теме, выполнение расчётов, составление схем и моделей на основе собранных данных	0
<b>Итого творческой СР:</b>	9
<b>Общая трудоемкость СР:</b>	59

## 9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 9.1. Адрес сайта курса

<http://mc.spbstu.ru>

## 9.2. Рекомендуемая литература

### Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год (годы) издания	Год изд.	Источник
1	Бидерман В.Л. Теория механических колебаний: Москва: Высш. школа, 1980.	1980	ИБК СПбПУ
2	Тимошенко С.П. и др. Колебания в инженерном деле: Москва: Машиностроение, 1985.	1985	ИБК СПбПУ

### Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год (годы) издания	Год изд.	Источник
1	Исполов Ю.Г. Вычислительные методы в теории колебаний: Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.	2008	ИБК СПбПУ
2	Бабаков И.М. Теория колебаний: Москва: Наука, 1965.	1965	ИБК СПбПУ
3	Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара: Ленинград: Политехника, 1990.	1990	ИБК СПбПУ

### Ресурсы Интернета

1. Захаров М.Г. и др. Моделирование и оптимизация динамических систем. СПб: изд-во Политехн. ун-та, 2010.: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/si20-693.pdf/en/info>
2. Исполов Ю. Г. Краткое руководство к решению задач по аналитической механике. Л.: изд-во ЛПИ, 1972.: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/si20-963.pdf/info>

## 9.3. Технические средства обеспечения дисциплины

Программное обеспечение персональных компьютеров; информационное, программное и аппаратное обеспечение локальной компьютерной сети; информационное и программное обеспечение глобальной сети ИНТЕРНЕТ.

## 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Аудитория со стеклянной доской и мультимедийной системой.
2. Ксерокс.

3. Сканер.

4. Принтер.

5. Видеопроектор.

6. Лицензионное программное обеспечение для решения задач оптимизации механических систем.

## 11. Критерии оценивания и оценочные средства

### 11.1. Критерии оценивания

Для дисциплины «Теория колебаний» предусмотрены следующие формы аттестации: зачёт, экзамен. Дисциплина реализуется с применением системы индивидуальных достижений.

#### Текущий контроль успеваемости

Максимальное значение персонального суммарного результата обучения (ПСРО) по приведенной шкале - 100 баллов

Максимальное количество баллов приведенной шкалы по результатам прохождения двух точек контроля - 80 баллов.

Подробное описание правил проведения текущего контроля с указанием баллов по каждому контрольному мероприятию и критериев выставления оценки размещается в СДО в навигационном курсе дисциплины.

#### Промежуточная аттестация по дисциплине

Максимальное количество баллов по результатам проведения аттестационного испытания в период промежуточной аттестации – 20 баллов приведенной шкалы.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с расписанием.

Оценка качества освоения дисциплины определяется экзаменом по основным разделам дисциплины. Текущий контроль успеваемости, т. е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении обоих семестров.

Результаты промежуточной аттестации, определяются на основе баллов, набранных в рамках применения, СИД

Баллы по приведенной шкале в рамках применения СИД (ПСРО+ ПА)	Оценка по результатам промежуточной аттестации
	Экзамен/диф.зачет/зачет
0 - 60 баллов	Неудовлетворительно/не зачтено
61 - 75 баллов	Удовлетворительно/зачтено
76 - 89 баллов	Хорошо/зачтено
90 и более	Отлично/зачтено

## 11.2. Оценочные средства

### Перечень примерных вопросов для оценки освоения дисциплины

#### Осенний семестр

1. Свободные колебания систем с одной степенью свободы. Вывод уравнения движения и его линеаризация. Колебания консервативного осциллятора.
2. Свободные колебания диссипативного осциллятора при наличии вязкого трения. Затухающе-колебательное, апериодическое и предельно-апериодическое движение. Оптимизация демпфирования.
3. Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы. Линейный осциллятор под действием гармонической силы. Силовое и кинематическое возбуждение. Метод комплексных амплитуд, АЧХ, ФЧХ.
4. Вынужденные колебания под действием негармонического периодического возбуждения. Вынужденные колебания под действием произвольной силы. Интеграл Дюамеля.
4. Колебания нелинейных систем с одной степенью свободы. Свободные и вынужденные колебания с нелинейной восстанавливающей силой. Метод гармонического баланса. Вынужденные колебания с нелинейной силой сопротивления. Автоколебания.
5. Колебания систем с несколькими степенями свободы. Матричная и скалярная форма уравнений малых колебаний. Свободные колебания, собственные частоты и формы колебаний.
6. Ортогональность форм колебаний. Модальная матрица, главные координаты. Нулевые и кратные корни частотного уравнения.
7. Колебания грузов на безынерционной балке. Определение матрицы коэффициентов влияния, обратный метод составления уравнений движения.
8. Свободные колебания систем с несколькими степенями свободы при наличии сил сопротивления. Случай малого демпфирования. Влияние диссипации на формы колебаний.
9. Вынужденные колебания систем с несколькими степенями свободы под действием гармонических сил при отсутствии и наличии диссипативных сил. Метод комплексных амплитуд. Резонанс. Динамический гаситель колебаний.

10. Колебания систем с регулярной структурой. Методы расчета. Поперечные колебания грузов на натянутой нити. Собственные частоты и формы колебаний. Крутильные колебания дисков на безынерционном валу. Колебания цепочки линейных осцилляторов.

## **Весенний семестр**

1. Колебания систем с распределенными параметрами. Продольные колебания стержней, крутильные колебания валов, поперечные колебания струн. Волновое уравнение. Граничные и начальные условия. Принцип Гамильтона-Остроградского.
2. Собственные частоты и формы продольных колебаний стержней с различными условиями закрепления. Ортогональность форм колебаний. Построение общего решения для свободных колебаний. Продольные колебания стержней переменного сечения. Вынужденные продольные колебания. Учет диссипативных сил при продольных колебаниях стержней.
3. Изгибные колебания балок. Дифференциальное уравнение. Граничные и начальные условия. Собственные частоты и формы изгибных колебаний балок с различными условиями закрепления. Ортогональность форм колебаний. Построение общего решения для свободных колебаний.
4. Вынужденные изгибные колебания балок. Учет диссипативных сил при изгибных колебаниях балок. Неклассические модели изгибных колебаний балок. Изгибные колебания балок переменного сечения. Колебания балок на упругом основании и под действием продольной сжимающей силы.
5. Колебания подвешенной цепи в поле тяжести. Дифференциальное уравнение поперечных колебаний цепи при отсутствии и наличии груза на другом конце. Собственные частоты и формы колебаний. Построение общего решения для свободных колебаний. Вынужденные колебания цепи. Колебания цепи переменной плотности.
6. Приближенные методы исследования колебаний стержней и балок. Физические модели. Модели с сосредоточенными массами. Схема гантели. Модели с сосредоточенными податливостями для продольных колебаний стержней и изгибных колебаний балок.
7. Конечномерные модели поперечных колебаний струн. Конечномерные модели подвешенной цепи, основанные на гантельной и стержневой схеме.
8. Метод Ритца для продольных колебаний стержней, изгибных колебаний балок и поперечных колебаний подвешенной цепи.

9. Основы метода конечных элементов. Формирование матриц инерционных и квазиупругих коэффициентов. Применение метода конечных элементов к исследованию продольных колебаний стержней и изгибных колебаний балок.

## **12. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Рекомендуется основной объем базовых знаний преподнести на лекциях и практических занятиях, а указанную литературу использовать для закрепления и расширения полученных знаний, поскольку имеющиеся учебники и учебные пособия дополняют друг друга, а использование нескольких учебников не очень удобно.

Также рекомендуется больше уделять внимания самостоятельной работе студентов, в частности выполнению ими домашних расчётных заданий с тем, чтобы, ознакомившись на практических занятиях с методами решения подобных задач, они имели возможность закрепить практические навыки, работая в удобном режиме времени, пользуясь консультациями преподавателя на дальнейших практических занятиях по соответствующим темам. Проведение занятий рекомендуется в интерактивной форме. В этом случае студенты не просто слушают и записывают услышанное, но и активно включаются в процесс изучения новых для них терминов, механических и математических моделей, методов решения. При этом студентов следует стимулировать к применению уже известных им понятий, изученных в других курсах, особенно по теоретической механике, физике и теории колебаний.

## **13. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.