

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
президиумом Ученого совета ННГУ  
от 14.12.2021 г. протокол № 4

**Рабочая программа дисциплины**

Колебания распределенных систем

(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)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2022 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.11.01. «Колебания распределенных систем» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.11.01. «Колебания распределенных систем» относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, формируемой участниками образовательных отношений.

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-4. Способен применять методы математического и компьютерного исследования при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук	ПК-4.1. Знает фундаментальные и теоретические основы, необходимые для исследования научных проблем	Знает методы математического и компьютерного исследования при анализе задач КРС на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук и навыки проблемно-задачной формы представления научных знаний	Собеседование
	ПК-4.2. Умеет самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, определять цели и задачи исследования, а также выбирать корректный метод исследования научной проблемы	Умеет применять методы математического и компьютерного исследования КРС при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук	Контрольная работа
	ПК-4.3. Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной	Имеет практический опыт применения методов математического и компьютерного исследования КРС.	Контрольная работа

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
	методикой		

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 з.е.</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	20
- занятия семинарского типа	20
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>31</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

#### 3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР <sup>1</sup> , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
			ЗЛсТ <sup>2</sup>	ЗСеТ <sup>3</sup>	ЗЛсТ <sup>4</sup>	Всего	
1.	Элементы теории упругости	3	1			1	2
2.	Постановка самосогласованных задач динамики упругих систем. Принцип Гамильтона-Остроградского	18	5	5		10	8
3.	Метод разделения переменных. Колебания струны.. Продольные колебания стержня. Крутильные колебания вала с диском на конце. Колебания балки. Метод Бубнова-Галёркина. Колебание струны с переменными параметрами.	11	3	3		6	5
4.	Волновой подход к анализу колебаний распределённых систем.	18	5	6		11	7
5.	Колебания струны с подвижными закреплениями. Параметрическая неустойчивость 2-го рода.	10	3	3		6	4
6.	Колебания балки Бернулли, Тимошенко. Колебания мембраны. Колебание пластины	11	3	3		6	5
	Текущий контроль (КСР)	1				1	
	ИТОГО	72	20	20	0	41	31
<sup>1</sup> Самостоятельная работа обучающегося. <sup>2</sup> Занятия лекционного типа. <sup>3</sup> Занятия семинарского типа. <sup>4</sup> Занятия лабораторного типа.							

### ***Краткое содержание разделов и тем дисциплины***

1. Элементы теории упругости (элементы сопромата). Деформации, напряжения. Обобщённый закон Гука. Коэффициент Пуассона. Потенциальная энергия деформации
2. Постановка самосогласованных задач динамики упругих систем. Принцип Гамильтона-Остроградского. Вывод уравнений колебаний распределённых систем. Поперечные колебания струны. Продольные колебания стержня. Крутильные колебания. Изгибные колебания балки. Постановка самосогласованной нелинейной задачи описывающей связанные изгибные и продольные колебания стержня. Вывод уравнений параметрических колебаний струны. Уравнения колебаний цепи. Самосогласованное движение границ и колебаний цепи.
3. Метод разделения переменных. (Метод Фурье). Колебания струны с неподвижными границами. Вынужденные колебания струны. Колебания струны с подвижными концами. Колебания струны с периодическим источником. Резонанс. Колебания неоднородной струны. Продольные колебания стержня. Крутильные колебания вала с диском на конце и нагруженный электромотором. Колебания подвешенной нити. Колебания вращающейся нити. Метод Бубнова-Галёркина. Колебание струны с переменными параметрами. Параметрический резонанс.
4. Волновой подход к анализу колебаний распределённых систем. Волна. Основные понятия. Эффект Допплера. Двойной эффект Допплера. Нормальный и аномальный эффект Допплера. Энергетические соотношения в волновых процессах. Теорема Умова-Пойтинга. Энергетические соотношения на движущихся границах.
5. Колебания струны с подвижными закреплениями. Параметрическая неустойчивость 2-го рода. Область применимости метода Бубнова-Галёркина.
6. Колебания балки Бернулли, Тимошенко. Колебания мембраны. Колебание пластины. Аналитические функции тензора 2-го ранга. Изотропные функции. Дифференцирование по тензорному аргументу. Производные от инвариантов тензора 2-го ранга.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

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

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).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### **5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *задач (практических заданий), контрольных работ* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *зачёту*.

## 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
<b>плохо</b>	не зачтено	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
<b>неудовлетворительно</b>		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
<b>удовлетворительно</b>	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
<b>хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
<b>очень хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>отлично</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>превосходно</b>		Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже

Оценка		Уровень подготовки
		«отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Контрольные вопросы

№	Вопрос	Код формируемой компетенции
1.	Обобщённый закон Гука. Коэффициент Пуассона. Деформации и закон Гука при чистом сдвиге.	ПК-4
2.	Потенциальная энергия деформации. Кручение. Деформации. Напряжения. Потенциальная энергия.	ПК-4
3.	Принцип Гамильтона-Остроградского. Вывод уравнений колебаний распределённых систем.	ПК-4
4.	Постановка самосогласованной нелинейной задачи описывающей связанные изгибные и продольные колебания стержня.	ПК-4
5.	Вывод уравнений параметрических колебаний струны. Уравнения колебаний цепи. Самосогласованное движение границ и колебаний цепи.	ПК-4
6.	Эффект Допплера. Двойной эффект Допплера. Нормальный и аномальный эффект Допплера.	ПК-4
7.	Энергетические соотношения волновых процессах. Теорема Умова-Пойтинга. Энергетические соотношения на движущихся границах.	ПК-4
8.	Метод Даламбера. Решение задачи о колебании струны с различными закреплениями. Колебания неоднородной струны. Продольный удар по стержню.	ПК-4
9.	Колебания струны с подвижными закреплениями. Параметрическая	ПК-4

№	Вопрос	Код формируемой компетенции
	неустойчивость 2-го рода. Область применимости метода Бубнова-Галёркина	
10.	Колебания балки Бернулли.	ПК-4
11.	Колебание мембраны.	ПК-4

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Деформации: абсолютная, относительная, продольная, поперечная. Тензор деформации.
2. Напряжения: нормальные, касательные. Тензор напряжений.
3. Гипотезы плоских сечений. Принцип Сен-Венана.
4. Обобщённый закон Гука. Коэффициент Пуассона. Деформации и закон Гука при чистом сдвиге.
5. Потенциальная энергия деформации. Кручение. Деформации. Напряжения. Потенциальная энергия.
6. Теория флоры. Уравнение Матвея.
1. Принцип Гамильтона-Остроградского.
8. Вывод уравнений колебаний распределённых систем.
9. Вывод поперечных колебаний струны.
2. Вывод продольных колебаний стержня.
3. Вывод крутильных колебаний.
4. Вывод изгибных колебаний балки.
5. Постановка самосогласованной нелинейной задачи описывающей связанные изгибные и продольные колебания стержня.
6. Вывод уравнений параметрических колебаний струны.
7. Вывод уравнения колебаний цепи. Самосогласованное движение границ и колебаний цепи.
8. Колебания струны с неподвижными границами
15. Вынужденные колебания струны. Колебания струны с периодическим источником на границе.
16. Резонансные колебания струны.
17. Задача Штурма-Лиувилля.
18. Колебания неоднородной струны. Метод разделения переменных.
19. Крутильные колебания вала с диском на конце и нагруженным электромотором
20. Колебания подвешенной нити. Метод разделения переменных.
21. Метод Бубнова-Галёркина.
22. Колебание струны с переменными параметрами. Параметрический резонанс.
23. Основные определения теории волн. Эффект Доплера. Двойной эффект Доплера. Нормальный и аномальный эффект Доплера.
24. Энергетические соотношения волновых процессах. Теорема Умова-Пойтинга. Энергетические соотношения на движущихся границах.
25. Метод Даламбера. Решение задачи о колебании струны с различными закреплениями. Колебания неоднородной струны. Продольный удар по стержню.
26. Колебания струны с подвижными закреплениями. Параметрическая неустойчивость 2-го рода. Область применимости метода Бубнова-Галёркина

27 Колебания балки Бурнулли, Тимошенко

28 Колебания круглой мембраны

#### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

№	а) основная литература:	К-во <sup>1</sup>
1.	Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле М.: Наука, 1967, 444с..	Э 11 экз
2.	Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. М.: Высшая школа, 1970, 712с.	Э, 25 экз.
№	б) дополнительная литература:	К-во <sup>1</sup>
1.	Ерофеев В. И., Кажаяев В. В., Семерикова Н. П. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. М. Наука.2002 год. 208 стр. <a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/ErofeevKazhaevSemerikova2002ru.djvu">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/ErofeevKazhaevSemerikova2002ru.djvu</a>	Э
2.	. Весницкий А.И. Волны в системах с движущимися нагрузками. М.: Физматлит 2001,319с. (3 экз.)	Э 3 экз.

№	в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)	«Л» или «С» <sup>2</sup>
1.		С

#### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: 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 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор(ы) \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н., доцент  
Ляхов А.Ф.

Рецензент(ы) \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой  
теоретической,  
компьютерной и  
экспериментальной  
механики

д.ф.-м.н., профессор  
Игумнов Л.А.

<sup>1</sup> Указывается количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указывается буква «Э».

<sup>2</sup> Указывается буква «Л», если программное обеспечение – лицензионное, или «С» – в свободном доступе.



Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 01.12.2021 года, протокол № 2.