

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Костромской государственный университет»  
(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Колебания в машинах**

Направление подготовки *15.03.02 «Технологические машины и оборудование»*

Направленность *«Цифровое проектирование машин и холодильных систем»*

Квалификация выпускника: Бакалавр

**Кострома 2023**

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 9 августа 2021 г. № 728 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 7 сентября 2021 г., регистрационный № 64910), в соответствии с учебным планом направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (уровень бакалавриата).

Разработал: Титов С.Н., профессор кафедры ТММ, ДМ и ПТМ, д.т.н., доцент

Рецензент: Смельский Валерий Витальевич, профессор кафедры ТММ, ДМ и ПТМ, д.т.н.

УТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры ТММ, ДМ и ПТМ  
Протокол заседания кафедры №10 от 24.05.2018 г.  
Заведующий кафедрой ТММ, ДМ и ПТМ  
Корабельников Андрей Ростиславович, д.т.н., профессор

ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры ТММ, ДМ и ПТМ  
Протокол заседания кафедры №3 от 11.11.2021 г.  
Заведующий кафедрой ТММ, ДМ и ПТМ  
Корабельников Андрей Ростиславович, д.т.н., профессор

ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры ТММ, ДМ и ПТМ  
Протокол заседания кафедры № 5 от 31.01.2023 г.  
Заведующий кафедрой ТММ, ДМ и ПТМ  
Корабельников Андрей Ростиславович, д.т.н., профессор

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

### Цель дисциплины:

Дать обучающемуся углубленные знания о динамических колебательных процессах в машинах и механизмах, методах и средствах их моделирования, анализа и использования при проектировании, наладке и эксплуатации технологических машин.

### Задачи дисциплины:

- дать обучающемуся углубленные знания о динамике систем материальных объектов применительно к механизмам и машинам;
- дать обучающемуся углубленные знания о динамике механизмов с деформируемыми звеньями и возникающих в них колебательных процессах;
- обеспечить обучающегося углубленными знаниями в части динамического взаимодействия рабочих органов машин с перерабатываемым материалом;
- усилить подготовку обучающегося в части динамики механизмов и машин;
- научить обучающегося методам создания динамических моделей колебательных систем и приведения их параметров к выбранному элементу;
- научить обучающегося приемам и методам анализа динамических моделей систем с несколькими степенями свободы;
- научить обучающегося основным приемам и методам линеаризации при решении задач анализа нелинейных колебательных систем.

Научно-образовательное, профессионально-трудовое воспитание обучающихся посредством содержания дисциплины и актуальных воспитательных технологий.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

### В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

#### знать:

- основные понятия и определения динамики колебательных процессов;
- структуру обобщенных динамических моделей колебательных систем;
- классификацию видов колебаний в зависимости от параметров динамических моделей;
- методы анализа колебательных процессов;
- методы диагностики машин и процессов по результатам анализа колебаний и вибраций.

#### уметь:

- разрабатывать модели колебательных процессов;
- выбирать корректные методы решения моделей колебательных процессов;
- осуществлять приведение параметров динамических моделей;
- рассчитывать и строить динамические характеристики процессов колебаний;
- осуществлять линеаризацию нелинейных моделей.

#### владеть:

- методами построения и определения параметров колебательных моделей;
- методами анализа колебательных систем с несколькими степенями свободы;
- методами приведения параметров колебательных моделей к отдельным элементам;
- алгоритмами и методами линеаризацию нелинейных моделей колебательных систем.

#### освоить компетенции:

ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в	ИОПК-1.1. Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных и общеинженерных дисциплин.
--	---

профессиональной деятельности	ИОПК-1.2. Умеет применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности. ИОПК-1.3: Имеет навыки теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.
-------------------------------	---

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина относится к вариативной части учебного плана. Изучается в 5-м семестре обучения.

Изучение дисциплины основывается на ранее освоенных дисциплинах:

- высшая математика;
- физика;
- основы алгоритмизации и программирования;
- моделирование и решение инженерных задач на ЭВМ;
- сопротивление материалов;
- теоретическая механика;
- теория механизмов и машин
- динамика механизмов и машин.

Изучение дисциплины является основой для освоения последующих дисциплин:

- цифровое моделирование машин;
- основы конструирования и проектирования машин;
- привод технологических машин;
- методы и средства научных исследований;
- пневмо- и гидросистемы в машинах;
- проектирование типовых технологических машин;
- проектирование специализированных машин;
- основы управления машинами и аппаратами.

### 4. Объем дисциплины (модуля)

#### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы	Очная форма
Общая трудоемкость в зачетных единицах	3
Общая трудоемкость в часах	108
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	32
Лекции	16
Практические занятия	
Лабораторные занятия	16
Самостоятельная работа в часах	75,75
ИКР	0,25
Форма промежуточной аттестации	зачет

#### 4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	16
Практические занятия	
Лабораторные занятий	16
Консультации	

Зачет/зачеты	
Экзамен/экзамены	
Курсовые работы	
Курсовые проекты	
Всего	32

**5.Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий**

**5.1 Тематический план учебной дисциплины**

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самост. Работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Колебания в системах с двумя степенями свободы	32	6		6	20
2	Колебания в линейных системах со многими степенями свободы	32	6		6	20
3	Колебательные системы с распределенными параметрами	28	4		4	20
	Зачет	15,75				15,75
	ИКР	0,25				
	<b>Итого:</b>	<b>108</b>	<b>16</b>		<b>16</b>	<b>75,75</b>

**5.2. Содержание:**

**Колебания в системах с двумя степенями свободы.**

Определение числа степеней свободы динамической системы.  
 Примеры системы с двумя степенями свободы.  
 Парциальные системы и полная система.  
 Зависимость собственных частот системы от расстройки между элементами.  
 Теория собственных колебаний в системе с двумя степенями свободы без трения.  
 Собственные колебания упруго связанных маятников.  
 Нормальные координаты.  
 Собственные частоты как экстремальные значения.  
 Связь и связанность двух систем (взаимодействие двух систем).  
 Колебания при сильной связанности.  
 Собственные колебания в системе с двумя степенями свободы при наличии трения.  
 Комплексные собственные частоты.  
 Автоколебательная система с двумя степенями свободы.  
 Действие внешних сил на систему с двумя степенями свободы без затухания.  
 Вынужденные колебания в системе с двумя степенями свободы при наличии затухания.  
 Динамическая жесткость и комплексные параметры системы.  
 Резонансная частота системы.

**Колебания в линейных системах со многими степенями свободы.**

Общие свойства линейной колебательной системы со многими степенями свободы.  
 Собственные колебания в системе без сил трения.  
 Собственные колебания “струны с бусинками”.  
 Нормальные координаты.  
 Ортогональность нормальных координат.  
 Энергия собственных колебаний и энергия нормального колебания.  
 Изменение масштабов нормальных координат.  
 Случай равенства собственных частот системы.  
 Равенство нулю одной или нескольких собственных частот.  
 Колебания в системе со многими степенями свободы при наличии затухания.  
 Вынужденные колебания в системе без затухания.  
 Вынужденные колебания в системе со многими степенями свободы при наличии трения.  
 Анализ колебаний в системе со многими степенями свободы с помощью преобразования Лапласа.

«Цепочки» однородных звеньев (элементов).

Собственные колебания в цепочке однородных элементов.

Вынужденные колебания в цепочке однородных элементов.

### **Колебательные системы с распределенными параметрами.**

Одномерная система с распределенными параметрами.

Собственные продольные колебания однородного стержня без затухания.

Пример собственных колебаний при неоднородных граничных условиях.

Ортогональность форм собственных колебаний.

Продольные собственные колебания системы с затуханием.

Вынужденные продольные колебания в однородной системе с распределенными параметрами.

Уравнения изгибных (поперечных) колебаний стержней.

Собственные изгибные колебания стержня.

Поперечные вынужденные колебания стержней.

Динамическая жесткость распределенной системы.

## **6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### **6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)**

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Колебания в системах с двумя степенями свободы	Изучение теории собственных колебаний в системе с двумя степенями свободы без трения и с трением. Резонансная частота системы	20	Изучение литературных источников 1 – 5, 8 – 10	Устный опрос
2	Колебания в линейных системах со многими степенями свободы	Собственные колебания “струны с бусинками”. Случай равенства собственных частот системы	20	Изучение литературных источников 1, 3, 5 – 10	Устный опрос
3	Колебательные системы с распределенными параметрами	Продольные и изгибные собственные колебания стержней	20	Изучение литературных источников 1 – 11	Устный опрос
	Зачет	Подготовка к зачету	15,75	Литературные источники 1 – 11	Зачет

### **6.2. Тематика и задания для практических занятий**

1. Расчет частот собственных колебаний двухмассовой колебательной системы при различных вариантах соединения жесткостей.
2. Определение главной собственной частоты двухмассовой колебательной системы.
3. Расчет параметров вибромашины.
4. Определение частот собственных колебаний много массовой колебательной системы последовательной, параллельной и разветвленной структуры.
5. Расчет динамических параметров исполнительного механизма, работающего в зарезонансном режиме, с учетом ограниченной мощности привода.
6. Расчет динамики передач гибкими связями с упругими звеньями.
7. Определение частот и форм собственных продольных и изгибных колебаний прямого стержня при различных видах закрепления.
8. Расчет крутильных колебаний длинного вала при гармоническом возмущающем воздействии.

### 6.3. Тематика и задания для лабораторных занятий

1. Исследование динамики двухмассовой колебательной системы при различных вариантах соединения жесткостей с построением АЧХ.
2. Исследование динамики вибромашины при импульсном и гармоническом возмущении.
3. Исследование динамики многомассовой колебательной системы последовательной, параллельной и разветвленной структуры.
4. Исследование переходных режимов машины с учетом эффекта Зоммерфильда.
5. Определение допустимых диапазонов рабочих скоростей механизма (машины) по динамическим характеристикам.
6. Исследование динамики передачи гибкими связями при наличии упругих звеньев.
7. Исследование продольных и изгибных колебаний прямого стержня при различных видах закрепления.
8. Исследование крутильных колебаний длинного многоопорного вала в переходных режимах.

### 6.4. Методические рекомендации для выполнения курсовых работ (проектов)

В качестве тем курсовых проектов рекомендуется выбирать решение задач динамического анализа механизмов по направлению и профилю подготовки бакалавров, а также – текущих инженерных задач региональной промышленности.

Результатом курсового проекта должны быть конкретные рекомендации по оптимизации механизма или заданию его конструктивных параметров, выбору материалов, назначению режимов работы и т.п.; возможно представление пользовательских программ для решения задач САПР или контроля и управления.

В состав графической части курсового проекта должны входить 3D модель или сборочный чертеж механизма, чертежи подвижных деталей, расчетные модели в виде схем нагружения и/или динамических моделей и графическое представление результатов анализа в форме кинематических и силовых диаграмм, графиков, АЧХ, фазовых портретов и т.п.; рекомендуется выносить в графическую часть основное математическое и алгоритмическое представление расчетной части проекта.

Порядок графического представления отдельных частей проекта зависит от конкретной темы и задач проекта.

## 7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### а) основная:

1. *Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний* : учеб. - 3-е изд., испр. - Москва : Лань, 2005. - 440 с. - (Лучшие классические учебники. Физика). - 3-500. - ЕН. - ISBN 5-8114-0614-2 : 239.00.
2. *Комаров М. С. Динамика механизмов и машин*. - Москва : Машиностроение, 1969. - 296 с. - ОПД, СД. - 1.17.
3. *Вульфсон И. И. Динамические расчеты цикловых механизмов*. - Л. : Машиностроение, 1976. - 328 с.: ил. - ОПД, СД. - 1.23.
4. *Вульфсон И. И. Колебания машин с механизмами циклового действия*. - Л. : Машиностроение, 1990. - 310 с.: ил. - ОПД, СД. - 3.20.



**б) дополнительная:**

5. Стрелков С. П. **Механика** : учеб. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 560 с.: ил. - (Лучшие классические учебники. Физика). - ЕН, ОПД. - ISBN 5-8114-0622-3 : 359.00.
6. Блехман И. И. **Вибрационная механика**. — М: Физматлит, 1994. — 400 с. ISBN 5-02-014283-2.
7. Вульфсон И. И. **Нелинейные задачи динамики машин**. - Л. : Машиностроение, 1968. - 282 с.: ил. - ОПД, СД. - 1.34.
8. Горяченко В. Д. **Элементы теории колебаний**: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений.- Издание 2-е переработанное и дополненное. - М: Высшая школа, 2001.-395 с.: ил. ISBN 5-06-004166-2, 5000 экз.
9. Эдвардс Р. Э. **Ряды Фурье в современном изложении**: В 2-х т.: Пер. с англ. Т. 1. - Москва : Мир, 1985. - 260 с. - ЕН. - 1.30.
10. Степанов А. Г. **Динамика машин**. - Екатеринбург: УрО РАН, 1999. ISBN 5-7691-0877-8.
11. Тутов С. Н. **Инерционные характеристики звеньев механизмов**: Метод. пособие по курсам РКТМ и ПрТМ. - Кострома: КГТУ, 2001. - 27 с. - ОПД, СД. - 15.00.

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

**Информационные ресурсы:**

1. Федеральный портал «Российское образование»; <http://www.edu.ru/>
2. Официальный сайт министерства образования и науки Российской Федерации [http://www.edu.ru/db/portal/org-sci/org\\_zapros.php](http://www.edu.ru/db/portal/org-sci/org_zapros.php)
3. Библиотека стандартов «Все ГОСТы» <http://vsegost.com/>
4. Электронный каталог библиотеки КГУ <http://library.ksu.edu.ru/>

**Информационно-образовательные ресурсы:**

1. Академическая справочная библиотека <https://dic.academic.ru/>
2. Энциклопедический справочный ресурс [https://bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/](https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/)
3. Ресурс «Файловый архив студентов» <https://studfiles.net/>
4. Федеральный ресурс «Теория механизмов и машин» <http://www.teormach.ru/>

**Электронные библиотечные системы:**

1. ЭБС «Лань» <http://lib.kemsu.ru/userfiles/file/>
2. ЭБС «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru/>
3. ЭБС «Znanium» <http://znanium.com/>

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

Учебный корпус «Б», ауд. № Б-106. (лекции, текущий контроль и промежуточная аттестация).	Посадочных мест – 48, рабочее место преподавателя, рабочая доска, комплект учебно-методических пособий, проектор.	Специальное программное обеспечение не используется
Учебный корпус «Б», ауд. № Б-302. (лабораторные работы, групповые и индивидуальные консультации, текущий контроль и промежуточная аттестация).	Посадочных мест – 26, , рабочее место преподавателя, рабочая доска, комплект учебно-методических пособий, компьютеры Intel Pentium Dual-Core E5200 2.50 GHz Socket 775800 MHz BOX – 10 шт. Сетевые ПЭВМ с набором необходимого программного обеспечения и выходом в Internet.	Windows 8.1. Поставщик ЗАО Софт Лайн Трейд. Договор № 50156/ЯР4393 от 11.12.2014. Microsoft Office Std. Поставщик ЗАО Софт Лайн Трейд. Договор № 50156/ЯР4393 от 11.12.2014. ПО Kaspersky Endpoint Security. Поставщик ООО Системный интегратор. Договор № СИ0002820 от 31.03.2017. MathCAD Education. Поставщик

		ООО ЮнитАльфаСОФТ. Договор № 208/13 от 10.06.2013. Обновление Компас 3D. Поставщик ООО Точка Комп. Договор № 2-ЭА-2014 от 29.05.2014.
Учебный корпус «Б», ауд. № Б-109. (лабораторные работы, групповые и индивидуальные консультации, текущий контроль и промежуточная аттестация).	Посадочных мест – 16, рабочее место преподавателя, рабочая доска, комплект учебно-методических пособий, персональный компьютер. Батанные механизмы. Виброизмерительная аппаратура. Стенд ВЭДС-10А. Стенд для испытания эластичных покрытий. Прядильная машина. Стенд привода веретен. Стенд кулачкового механизма. Вибростенды. Стенды ткацкого оборудования. Наборы измерительных инструментов, датчики измерения перемещений, ускорений, усилий, деформаций, вибраций и др., измерительный комплекс ZetLab на базе АЦП с программным обеспечением, аналого-цифровые преобразователи на базе ЭВМ.	Специальное программное обеспечение не используется
Учебный корпус «Б», ауд. № Б-312. (помещение для ремонта и обслуживания оборудования).		Специальное программное обеспечение не используется
Читальный зал главного корпуса, ауд.119 (самостоятельная работа).	17 посадочных мест; 6 компьютеров (5 для читателей, 1 для сотрудника); 2 принтера; 1 копировальный аппарат.	Специальное программное обеспечение не используется