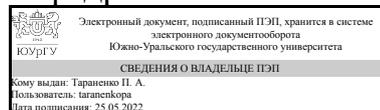


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



П. А. Тараненко

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.Ф.П1.16 Теория колебаний континуальных систем  
для направления 15.03.03 Прикладная механика**

**уровень** Бакалавриат

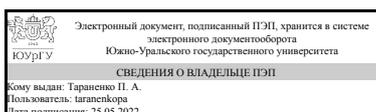
**профиль подготовки** Компьютерное моделирование и испытания  
высокотехнологичных конструкций

**форма обучения** очная

**кафедра-разработчик** Техническая механика

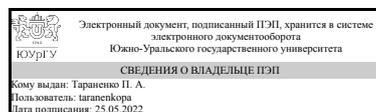
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 729

Зав.кафедрой разработчика,  
к.техн.н., доц.



П. А. Тараненко

Разработчик программы,  
к.техн.н., доц., заведующий  
кафедрой



П. А. Тараненко

## 1. Цели и задачи дисциплины

Развитие у студентов представления о месте и роли аналитической динамики и теории колебаний при построении и анализе основных физических моделей и при исследовании равновесия и движения механических систем. Приобретение опыта творческой работы по выбору адекватных расчетных схем разнообразных объектов современной техники и интерпретации их поведения. Формирование умения комплексно решать инженерные задачи о динамике и прочности машиностроительных конструкций и изделий путем построения расчетной схемы, записи дифференциальных уравнений движения, выбора метода решения, последующего анализа результатов расчета, оценки прочности конструкции и выработки практических рекомендаций. Достижение этих целей позволит выпускнику оценивать прочность машиностроительных конструкций при вибрационных воздействиях.

### Краткое содержание дисциплины

Колебания нелинейных систем. Динамическая система и ее фазовый портрет. Вектор состояния, фазовое пространство, фазовые траектории и их свойства. Нелинейные системы. Примеры. Характеристики восстанавливающих сил: симметричные – несимметричные, жесткие – мягкие. Свободные колебания нелинейной консервативной системы. Особенность свободных колебаний нелинейной системы. Метод гармонического баланса. Скелетная кривая. Форма колебаний нелинейной системы с одной степенью свободы. Свободные колебания нелинейной системы. Способ прямой линеаризации при симметричной и несимметричной характеристиках восстанавливающей силы. Вынужденные колебания нелинейной системы при гармоническом возбуждении. Метод гармонического баланса. Метод медленно меняющихся амплитуд. Энергетическая оценка достижимых амплитуд. Субгармонические колебания в нелинейных системах. Особенности вынужденных колебаний нелинейных систем. Колебания стержней с распределенной массой. Колебания стержней с распределенной массой. Свободные продольные колебания призматических стержней. Вывод уравнений движения. Граничные условия. Определение собственных частот и форм колебаний. Крутильные колебания валов круглого поперечного сечения. Поперечные колебания призматических стержней. Граничные условия. Определение собственных частот и форм. Расчет поперечных колебаний балок с несколькими участками. Влияние продольных сил, поперечного сдвига и инерции осевого движения элементов балки на её поперечные колебания. Изгибно-продольные и изгибно-крутильные колебания плоско-пространственных рам. Уравнения форм колебаний. Геометрические и силовые условия сопряжения. Вынужденные изгибные колебания стержней. Метод разложения по собственным формам. Свойства вынужденных колебаний. Определение перемещений и напряжений. Метод непосредственного решения. Свободные и вынужденные колебания стержней при наличии вязкого трения. Случай гистерезисного трения. Гипотеза Е.С. Сорокина. Способы повышения демпфирующих свойств стержневых систем. Колебания, вызываемые подвижной нагрузкой. Распространение волн продольной деформации. Случай внезапного приложения силы. Приближенные и численные методы расчета колебаний стержней. Методы Рэлея и Ритца. Выбор базисных функций. Приведение масс. Методы динамических податливостей и динамических жесткостей. Расчет собственных и вынужденных колебаний.

Колебания пластин и оболочек Уравнения движения пластины постоянной толщины. Круглая пластина постоянной толщины. Формы колебаний круглых пластин. Расчет собственных частот и форм колебаний. Бегущие волны в круглых пластинах. Критические частоты вращения дисков паровых и газовых турбин. Резонансные диаграммы. Колебания оболочек. Случаи использования теории оболочек без растяжения срединной поверхности и безмоментной теории.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен работать в различных отраслях промышленности и может выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий	Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой Умеет: решать задачи об определении собственных частот и форм колебаний механических систем с распределенной массой Имеет практический опыт: применения пакета Ansys Workbench для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой
ПК-2 Способен решать профессиональные задачи на основе представлений о процессах и явлениях, происходящих в природе, а также понимания о возможностях современных научных методов познания природы	Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний нелинейных систем с одной степенью свободы Умеет: выполнять численное интегрирование уравнений движения нелинейных систем с одной степенью свободы Имеет практический опыт: применения пакета Mathcad для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Практикум по виду профессиональной деятельности, Нестандартные задачи сопротивления материалов, Теория колебаний, Аналитическая динамика, Основы автоматизации инженерных расчетов, Экспериментальная механика, Анализ механической системы твердых тел, Строительная механика пластин, Строительная механика оболочек, Цифровое моделирование динамики машин и механизмов, Основы расчетов на прочность в инженерной практике, Практикум по кинематике и динамике твердых тел	Цифровые методы анализа динамики конструкций, Динамика машин, Оптико-геометрические методы измерений, Виброметрия и вибродиагностика

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
<p>Основы автоматизации инженерных расчетов</p>	<p>Знает: основные физические явления и процессы, системы компьютерной математики для решения задач в области прикладной механики с помощью существующих информационных технологий и компьютерных программ; основы проведения математических вычислений инженерных расчетов в компьютерной программе Mathcad, существующие информационные технологии и компьютерные программы для проведения инженерных расчетов; основы расчетов элементов конструкций и проведения математических вычислений с использованием вычислительных методов Умеет: проводить основные математические вычисления в системе Mathcad; применять стандартные математические функции программы Mathcad при проведении необходимых инженерных расчетов, расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость типовых стержневых систем; применять физико-математические методы для решения практических задач; применять вероятностные и статические методы при обработке экспериментальных данных, проводить расчеты на прочность, жесткость и устойчивость типовых стержневых систем и элементов конструкций с помощью программ компьютерной математики; применять современные математические пакеты программ для обработки результатов эксперимента Имеет практический опыт: решения конкретных задач с помощью численных методов; самостоятельного проведения расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость типовых элементов конструкций в программе MathCAD; обработки экспериментальных данных при практической работе на компьютере с применением современных вычислительных систем; навыками применения физико-математического аппарата и методов математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности, расчета на прочность элементов конструкций с использованием современных вычислительных систем; применения математического аппарата для статистической обработки результатов эксперимента</p>
<p>Теория колебаний</p>	<p>Знает: основные понятия, физические основы и методы математического анализа динамического поведения механических систем, базовые</p>

	<p>фундаментальные, естественнонаучные положения теории колебаний Умеет: ставить и решать задачи о движении и равновесии материальных объектов, конструкций и сооружений, выполнять расчет собственных частот и собственных форм малых колебаний линейных консервативных систем с конечным числом степеней свободы Имеет практический опыт: анализа результатов решения задач динамического поведения механических систем с конечным числом степеней свободы, формулировки выводов и оформления отчетов о выполненных исследованиях, выполнять расчет установившихся колебаний линейных консервативных систем с конечным числом степеней свободы</p>
<p>Строительная механика пластин</p>	<p>Знает: основные гипотезы технической теории пластин, возможности современных численных методов решения задач о пластинах Умеет: записывать и решать определяющие уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние пластин, выбирать методы и приемы моделирования, обеспечивающие эффективность и адекватность расчетных моделей Имеет практический опыт: получения аналитических и численных (с использованием САЕ-программ) оценок напряженного состояния в задачах о пластинах, применения соответствующих численных методов для определения напряженно-деформированного состояния конструкций из пластин</p>
<p>Аналитическая динамика</p>	<p>Знает: базовые фундаментальные, естественнонаучные положения аналитической динамики и теории колебаний, основные понятия теории малых колебаний линейных систем с конечным числом степеней свободы, основные понятия, физические основы и методы математического анализа динамического поведения механических систем Умеет: классифицировать механическую систему на основании выявления наложенных связей и записи их уравнений; определять число степеней свободы механической системы; записывать уравнения движения; составлять и решать характеристическое уравнение; устанавливать характер движения механической системы (колебательный или неколебательный), выполнять расчет собственных частот и собственных форм малых колебаний линейных консервативных систем с конечным числом степеней свободы, ставить и решать задачи о движении и равновесии материальных объектов, конструкций и сооружений Имеет практический опыт: записи дифференциальных уравнений движения в прямой форме, обратной форме, с помощью уравнений Лагранжа второго рода,</p>

	<p>расчета установившихся и неуставившихся колебаний линейных консервативных систем с конечным числом степеней свободы, анализа результатов решения задач динамического поведения механических систем с конечным числом степеней свободы, формулировки выводов и оформления отчетов о выполненных исследованиях</p>
<p>Основы расчетов на прочность в инженерной практике</p>	<p>Знает: современные подходы, в том числе, математические модели к определению предельных состояний элементов конструкций, возникающие при однократном, повторно-переменном и длительном (при повышенной температуре) нагружении, классические и технические теории и методы, прогрессивные физико-механические, математические и компьютерные модели для оценки предельных состояний разного рода конструкций, обладающие высокой степенью адекватности реальным процессам и объектам  Умеет: применять современные теории, физико-математические и численные методы исследования закономерностей реализации предельных состояний изделий в условиях однократного, повторно-переменного и длительного нагружения, определять предельные состояния, включая образование трещин, на основе классических и технических теорий и методов, современных адекватных физико-механических, математических и компьютерных моделей  Имеет практический опыт: расчетов и навыки использования пакетов прикладных программ, включая академические пакеты МКЭ, а также новых систем компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга для оценки прочности элементов конструкций, решения задач, связанных с определением различных предельных состояний, обладать навыками применения адекватных физико-механических, математических и компьютерных моделей</p>
<p>Практикум по кинематике и динамике твердых тел</p>	<p>Знает: фундаментальные понятия кинематики и динамики; основные аксиомы, законы и принципы теоретической механики для применения их в профессиональной деятельности, основные понятия и законы кинематики и динамики твердого тела и механической системы, методы кинематического и динамического анализа механической системы  Умеет: применять теоремы кинематики, общие теоремы и принципы динамики к исследованию движения твердого тела и механической системы, решать типовые задачи кинематики и динамики материальных объектов, анализировать полученный результат  Имеет практический опыт: математического</p>

	<p>моделирования кинематического и динамического состояния механических систем и анализа полученных результатов, применения методов кинематического и динамического анализа для математического описания движения материальных объектов и решения полученных математических моделей</p>
<p>Практикум по виду профессиональной деятельности</p>	<p>Знает: возможные постановки задач в области прикладной механики, основы численных методов решения задач статики и динамики деформируемого тела, способы поиска и возможные источники информации по профессиональной тематике Умеет: выбирать особенности применения численных методов в конкретных задачах, выбирать способы компьютерной реализации рассматриваемых методов, выбирать численные методы для расчета напряженно-деформированного состояния конструкций различных типов, критически анализировать информацию, доступную в профессиональных публикациях, для конкретизации задач исследования Имеет практический опыт: применения современных пакетов программ (САЕ) для моделирования конструкций с достаточным уровнем адекватности, решения задач прочности типовых конструкций с использованием численных методов, использования нормативной документации для интерпретации результатов расчетов, подготовки обзора литературы с формулировкой целей и задач исследования, подготовки соответствующего доклада</p>
<p>Экспериментальная механика</p>	<p>Знает: устройство современного оборудования для исследования напряжений, деформаций, перемещений, усилий и колебаний, теоретические основы методов экспериментального определения напряжений, деформаций, перемещений, усилий и колебаний Умеет: определять базовые количественные значения деформаций и напряжений в «реперных (контрольных)» точках конструкции для последующей проверки точности выполняемых расчетных исследований, выполнять оценку напряженно-деформированного состояния, нагруженности и прочности деформируемых элементов машин и конструкций от действия механических, тепловых и других нагрузок Имеет практический опыт: обработки и анализа результатов, полученных экспериментальными методами, решения задач оценки деформаций, перемещений, температур и колебаний</p>
<p>Строительная механика оболочек</p>	<p>Знает: возможности современных численных методов решения задач об оболочках, основные гипотезы технической теории оболочек Умеет: выбирать методы и приемы моделирования, обеспечивающие эффективность и адекватность</p>

	<p>расчетных моделей, записывать и решать определяющие уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние оболочек Имеет практический опыт: применения соответствующих численных методов для определения напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций, получения аналитических и численных (с использованием САЕ-программ) оценок напряженного состояния в задачах об оболочках</p>
<p>Анализ механической системы твердых тел</p>	<p>Знает: теоретические основы и методы компьютерного моделирования, компьютерные системы моделирования динамики механизмов из абсолютно твердых тел Умеет: разрабатывать виртуальные модели исследуемых механических систем, учитывающих особенности их конструкции, выполнять кинематический и динамический анализ механической системы Имеет практический опыт: работы с пакетами многотельной динамики (MultiBody Dynamics) для компьютерного моделирования динамических систем, состоящих из твердых тел, кинематического и динамического анализа механических систем</p>
<p>Нестандартные задачи сопротивления материалов</p>	<p>Знает: основы расчета на прочность по допускаемым напряжениям и по допускаемым нагрузкам, общие закономерности неупругого однократного и повторно-переменного деформирования материалов, основные гипотезы механики деформируемого тела и, в частности, сопротивления материалов Умеет: формулировать возможные задачи: определение предельных нагрузок, перемещений, остаточных напряжений, записывать системы уравнений и неравенств, описывающих неупругое деформирование конструкций, выделять круг задач, в которых особенности рассматриваемых процессов требуют применения специфических методов анализа Имеет практический опыт: определения предельных нагрузок для конструкций различных типов: стержневых (работающих при растяжении-сжатии, кручении, изгибе) и не являющихся стержневыми (соединения элементов конструкций), решения задач определения нагрузок, напряжений и перемещений при однократном и повторном нагружении за пределами упругости, формулировки задач расчетов за пределами упругости, определения перечня возможных результатов</p>
<p>Цифровое моделирование динамики машин и механизмов</p>	<p>Знает: современные пакеты 1D и 3D цифрового моделирования динамики сборок из абсолютно твердых тел, теоретические основы и методы цифрового моделирования Умеет: определять кинематические и динамические параметры конструкции (перемещения, скорости и</p>

	ускорения точек), разрабатывать цифровые виртуальные модели исследуемых механических систем, учитывающих особенности их конструкции Имеет практический опыт: кинематического и динамического анализа систем твердых тел, работы с пакетами многотельной динамики (MultiBody Dynamics) для цифрового компьютерного моделирования динамических систем
--	---

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 75,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64	
Лекции (Л)	16	16	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32	
Лабораторные работы (ЛР)	16	16	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	68,5	68,5	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к экзамену	30	30	
Выполнение курсовой работы	38,5	38,5	
Консультации и промежуточная аттестация	11,5	11,5	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен, КР	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
01	Колебания нелинейных систем	14	6	4	4
02	Колебания стержней с распределенной массой	44	8	24	12
03	Колебания пластин и оболочек	6	2	4	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
01	01	Динамическая система и ее фазовый портрет. Вектор состояния, фазовое пространство, фазовые траектории и их свойства. Нелинейные системы. Примеры. Характеристики восстанавливающих сил: симметричные – несимметричные, жесткие – мягкие. Свободные колебания нелинейной	2

		консервативной системы. Особенность свободных колебаний нелинейной системы.	
02	01	Метод гармонического баланса. Скелетная кривая. Форма колебаний нелинейной системы с одной степенью свободы. Свободные колебания нелинейной системы. Способ прямой линеаризации при симметричной и несимметричной характеристиках восстанавливающей силы. Вынужденные колебания нелинейной системы при гармоническом возбуждении. Метод гармонического баланса. Метод медленно меняющихся амплитуд. Энергетическая оценка достижимых амплитуд.	2
03	01	Субгармонические колебания в нелинейных системах. Особенности вынужденных колебаний нелинейных систем.	2
04	02	Колебания стержней с распределенной массой. Свободные продольные колебания призматических стержней. Вывод уравнений движения. Граничные условия. Определение собственных частот и форм колебаний. Крутильные колебания валов круглого поперечного сечения.	2
05	02	Влияние продольных сил, поперечного сдвига и инерции осевого движения элементов балки на её поперечные колебания. Изгибно-продольные и изгибно-крутильные колебания плоско-пространственных рам. Уравнения форм колебаний. Геометрические и силовые условия сопряжения.	2
06	02	Вынужденные изгибные колебания стержней. Метод разложения по собственным формам. Свойства вынужденных колебаний. Определение перемещений и напряжений. Метод непосредственного решения. Свободные и вынужденные колебания стержней при наличии вязкого трения. Случай гистерезисного трения. Гипотеза Е.С. Сорокина. Способы повышения демпфирующих свойств стержневых систем.	2
07	02	Колебания, вызываемые подвижной нагрузкой. Распространение волн продольной деформации. Случай внезапного приложения силы. Приближенные и численные методы расчета колебаний стержней. Методы Рэлея и Ритца. Выбор базисных функций. Приведение масс. Методы динамических податливостей и динамических жесткостей. Расчет собственных и вынужденных колебаний.	2
08	03	Колебания пластин. Уравнения движения пластины постоянной толщины. Круглая пластина постоянной толщины. Формы колебаний круглых пластин. Расчет собственных частот и форм колебаний.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
01	01	Построение характеристики восстанавливающей силы нелинейной системы. Построение скелетной кривой нелинейной системы методом прямой линеаризации.	2
02	01	Вынужденные колебания нелинейной системы. Численное интегрирование уравнений движения нелинейной системы с использованием пакета MathCAD.	2
03	02	Поперечные колебания призматических стержней. Граничные условия при продольных колебаниях стержней с распределенной массой.	2
04	02	Поперечные колебания призматических стержней. Определение собственных частот и форм. Расчет поперечных колебаний балок с несколькими участками.	2
05	02	Граничные условия при изгибных колебаниях стержней с распределенной массой.	2
06	02	Аналитическое определение собственных частот и форм продольных	2

		колебаний стержней с распределенной массой.	
07	02	Численное определение собственных частот и форм продольных колебаний стержней с распределенной массой с использованием пакета MathCAD.	2
08	02	Численное определение собственных частот и форм продольных колебаний стержней с распределенной массой методом конечных элементов.	2
09	02	Условие ортогональности собственных форм при изгибных колебаниях стержней с распределенной массой.	2
10	02	Решение задачи о вынужденных изгибных колебаниях стержней с распределенной массой методом конечных амплитуд.	2
11	02	Решение задачи о вынужденных изгибных колебаниях стержней с распределенной массой методом разложения по собственным формам.	2
12	02	Поперечные колебания стержня с продольной силой.	2
13	02	Применение метода динамических податливостей в расчете собственных и вынужденных колебаний сложных систем.	2
14	02	Составление геометрических и силовых условий сопряжения при изгибно-продольных и изгибно-крутильных колебаниях рам.	2
15	03	Изгибные колебания круглой пластины постоянной толщины.	2
16	03	Бегущие волны в круглых пластинах. Критические частоты вращения дисков паровых и газовых турбин. Резонансные диаграммы. Колебания оболочек. Случаи использования теории оболочек без растяжения срединной поверхности и безмоментной теории.	2

### 5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
01	01	Свободные затухающие колебания нелинейной системы с одной степенью свободы	2
02	01	Вынужденные колебания нелинейной системы с одной степенью свободы	2
03	02	Свободные колебания линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы при различных видах трения	2
04	02	Вынужденные колебания линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы. Построение амплитудно-частотной характеристики	2
05	02	Вынужденные колебания системы с двумя степенями свободы. Свойство ортогональности формы вынуждающего воздействия к собственной форме колебаний.	2
06	02	Экспериментальное определение собственных частот и форм колебаний стержня с распределенной массой	2
07	02	Собственные колебания стержня с распределенной массой при различных видах трения	2
08	02	Гашение колебаний стержня с распределенной массой на резонансе с помощью антивибратора	2

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	Основная литература: [1], стр. 50-55; [2], стр. 259-277; [3], стр. 227-237; [5], стр. 68-	7	30

	85, [1], стр. 55-81; [2], стр. 317-322; [3], стр. 58-74, 202-207; [5], стр. 86-96; [6], стр. 122-180, [1], стр. 141-167; [3], стр. 219-226; [5], стр. 177-205, 214-225, 241-251; [6], стр. 283-340; [8], стр. 98-109; дополнительная литература [1-4]; методические пособия [1]; учебно-методические материалы в электронном виде [1-3].		
Выполнение курсовой работы	[8], стр. 110-136	7	38,5

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	7	Текущий контроль	Тест по колебаниям нелинейных систем	1	6	Проводится компьютерное тестирование. Максимальная оценка за тест - 6 баллов.	экзамен
2	7	Текущий контроль	Тест по колебаниям систем с распределенной массой	1	6	Проводится компьютерное тестирование. Максимальная оценка за тест - 6 баллов.	экзамен
3	7	Текущий контроль	Решение задачи №9 о колебаниях нелинейной системы	1	6	Записана характеристика восстанавливающей силы - 1 балл. Получено точное решение - 1 балл. Получено решение методом прямой линеаризации - 1 балл. Получено решение методом Рунге-Кутты - 1 балл. Построен фазовый портрет - 1 балл. Приведено отличие решений от точного - 1 балл. Максимальное число баллов за решение задачи - 6 баллов.	экзамен
4	7	Текущий контроль	Решение задачи №10 о собственных колебаниях балки с распределенной массой	1	12	Записаны граничные условия - 1 балл. Получен частотный определитель - 1 балл. Найдены не менее 6 собственных частот в MathCAD - 1 балл. Найдены не менее 6 собственных частот в Ansys - 1 балл. Выполнена проверка условия ортогональности первых трех форм - 1 балл. Выполнена проверка граничных условий - 1 балл. Выполнено сравнение	экзамен

						<p>собственных частот, найденных в MathCAD и Ansys, - 1 балл.</p> <p>Выполнено сравнение первых трех собственных форм перемещений, найденных в MathCAD и Ansys, - 1 балл. Выполнено сравнение первых трех собственных форм углов поворота, найденных в MathCAD и Ansys, - 1 балл. Выполнено сравнение первых трех собственных форм изгибающих моментов, найденных в MathCAD и Ansys, - 1 балл. Выполнено сравнение первых трех собственных форм поперечных сил, найденных в MathCAD и Ansys, - 1 балл. Выполнена нормировка собственных форм из условия равенства единице обобщенной массы на каждой собственной форме - 1 балл.</p> <p>Максимальное число баллов за решение задачи - 12 баллов.</p>	
5	7	Текущий контроль	Решение задачи №11 о вынужденных колебаниях балки с распределенной массой на нерезонансном режиме	1	9	<p>Найдены главные координаты в MathCAD - 1 балл. Получено решение задачи о вынужденных колебаниях балки в Ansys - 2 балла. Выполнено сравнение форм перемещений при установившихся вынужденных колебаниях, найденных в MathCAD и Ansys, - 2 балла. Выполнено сравнение форм изгибающих моментов при установившихся вынужденных колебаниях, найденных в MathCAD и Ansys, - 2 балла. Построены графики перемещений при установившихся вынужденных колебаниях, найденных в MathCAD, при разном числе слагаемых - 1 балл. Построены графики изгибающих моментов при установившихся вынужденных колебаниях, найденных в MathCAD, при разном числе слагаемых - 1 балл. Максимальное число баллов за решение задачи - 9 баллов.</p>	экзамен
6	7	Текущий контроль	Решение задачи №12 о вынужденных колебаниях балки с распределенной массой на резонансном режиме	1	12	<p>Получены главные координаты в MathCAD на резонансном режиме – 1 балл</p> <p>Получено решение задачи о вынужденных колебаниях балки на резонансном режиме в Ansys – 1 балл</p> <p>Выполнено сравнение результатов расчета перемещений в MathCAD и Ansys – 1 балл</p> <p>Выполнено сравнение результатов расчета изгибающих моментов в</p>	экзамен

					<p>MathCAD и Ansys – 1 балл  Получены перемещения в MathCAD в зависимости от числа слагаемых – 1 балл  Получены изгибающие моменты в MathCAD в зависимости от числа слагаемых – 1 балл  Определена точка расположения сосредоточенной силы и момента из условия минимума обобщенной силы на второй собственной форме - 1 балл  Получена АЧХ в Ansys – 1 балл  Получена АЧХ в MathCAD – 1 балл  Выполнен расчет на прочность на нерезонансном режиме – 1 балл  Выполнен расчет на прочность на резонансном режиме – 1 балл  Выполнен расчет на прочность на резонансном режиме при новом расположении сосредоточенной силы и момента – 1 балл  Максимальное число баллов за решение задачи - 12 баллов</p>		
7	7	Текущий контроль	Решение задачи №13 о собственных колебаниях пространственной рамы	1	9	<p>Записать 12 граничных условий при изгибно-продольных колебаниях рамы и 12 граничных условий при изгибно-крутильных колебаниях рамы. Каждое условие оценивается в 0,3 балла  Итого 7,2 балла за граничные условия.  Записать 6 условий равновесия узла (по 0,3 балла за условие): Итого 1,8 баллов за условия равновесия.  Максимальное число баллов за решение задачи - 9 баллов</p>	экзамен
8	7	Курсовая работа/проект	Защита курсовой работы	-	60	<p>1. Отчет. Отчёт должен быть оформлен в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к отчётным материалам согласно ГОСТ 7.32-2017 "Отчет о научно-исследовательской работе". Текст отчёта набирается на компьютере (ПК) и оформляется в печатном виде. Он должен включать в себя титульный лист, листы заданий, оглавление, введение, основную часть, заключение, библиографический список и приложения (не обязательная часть). На титульном листе необходимо указывать все атрибуты работы и идентификационные сведения о студенте. После титульного листа представляется подписанное индивидуальное задание. Далее следует аннотация и оглавление с указанием страниц. В</p>	курсовые работы

					<p>отчёт в обязательном порядке включаются материалы согласно индивидуальному заданию, приводится список используемых источников информации. Отчет должен быть хорошо отредактирован и иллюстрирован графиками, диаграммами, схемами, рисунками. В конце отчета могут быть приведены приложения. Они обязательно должны быть пронумерованы, снабжены единообразными подписями и описаны в отчете (с какой целью прилагаются, как используются на практике). При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). При оценке работы студента принимается во внимание содержание, объем и качество оформления отчета.</p> <p>Критерии оценивания отчёта:  наличие титульного листа (5 баллов); наличие реферата (5 баллов); наличие содержания (5 баллов); наличие основной части (5 баллов); наличие заключения (5 баллов); логично и понятное передано содержание работы в тексте пояснительной записки (5 баллов); четкость и логичность полученных выводов и рекомендаций (5 баллов); орфографическая и пунктуационная грамотность в тексте отчёта (5 баллов). Максимальное количество баллов за отчет – 40. Вес мероприятия - 1. 2. Презентация. Оценки за презентацию. 5 баллов - презентация содержит титульный слайд, цели, задачи, основную часть, выводы и полностью раскрывает суть выполненной работы, презентация качественно оформлена. 4 балла - презентация содержит титульный слайд, цели, задачи, основную часть, выводы, но недостаточно полно раскрывает суть выполненной работы. 3 балла - презентация содержит титульный слайд, задачи, основную часть, нет выводов по работе, презентация</p>
--	--	--	--	--	---

					<p>плохо оформлена. 2 балла - презентация содержит титульный слайд, основную часть, плохо оформлена, неясна суть выполненной работы. 1 балл - презентация содержит титульный слайд и отрывочные сведения о результатах выполненной работы. 0 баллов - презентация отсутствует. Максимальное количество баллов за презентацию – 5. Вес мероприятия - 2. 3. Доклад. Студент в установленные сроки сдаёт на кафедру отчёт. Отчет должен содержать результаты решения задач №9-№13. Дата и время защиты отчета устанавливаются кафедрой в соответствии с календарным графиком учебного процесса. Оценка за доклад выставляется следующим образом: 5 баллов - доклад по выполненной работе четко выстроен; автор прекрасно ориентируется в демонстрационном материале; показано владение специальным аппаратом; использованы общенаучные и специальные термины, сделаны четкие выводы; обучающийся ответил четко и ясно на вопросы, заданные по результатам доклада. 4 балла - доклад четко выстроен, но есть неточности; автор ориентируется в демонстрационном материале; показано владение специальным аппаратом; использованы общенаучные и специальные термины, сделаны выводы; обучающийся ответил недостаточно четко и ясно на вопросы, заданные по результатам доклада. 3 балла - доклад объясняет суть работы, но не полностью отражает содержание работы; представленный демонстрационный материал не полностью используется докладчиком; показано владение только базовым аппаратом; выводы имеются, но не доказаны; студент слабо отвечает на заданные после защиты вопросы. 2 балла - доклад не объясняет суть работы; презентация содержит отрывочные сведения о результатах работы; не показано владение</p>
--	--	--	--	--	--

					<p>специальным и базовым аппаратом; выводы не доказаны; нет ответов на вопросы. 1 балл - доклад сделан, но демонстрационный материал (презентация) при докладе не использован. 0 баллов – доклад отсутствует</p> <p>Максимальное число баллов за доклад - 5 баллов. Вес мероприятия - 2. 4. Итоговая оценка за курсовую работу. Максимальное число баллов за отчет - 40 баллов. Максимальное число баллов за презентацию - 10 баллов. Максимальное число баллов за доклад - 10 баллов. Итого 60 баллов</p>		
9	7	Промежуточная аттестация	экзамен	-	40	<p>Экзаменационный билет включает в себя два теоретических вопроса и три задачи (одна по нелинейным колебаниям, одна по граничным условиям, одна по вынужденным колебаниям стержней с распределенной массой).</p> <p>Теоретический вопрос №1 (колебания нелинейных систем) оценивается по четырехбалльной шкале Теоретический вопрос №2 (колебания стержней с распределенной массой) оценивается по четырехбалльной шкале Задача №1 (колебания нелинейных систем) оценивается по четырехбалльной шкале. Задача №2 (колебания стержней с распределенной массой) оценивается по четырехбалльной шкале. Задача №3 (граничные условия) оценивается по четырехбалльной шкале. Максимум за билет 20 баллов. Вес контрольного мероприятия - 2. Максимальное число баллов за экзамен - 40 баллов.</p> <p>Четырехбалльная шкала оценивания. 4 балла - задание выполнено полностью правильно, без единой ошибки 3 балла - задание выполнено правильно, но есть незначительные ошибки. 2 балл - задание выполнено, но есть существенные ошибки. 1 балл - задание не выполнено, но предпринята попытка решения. 0 баллов - задание не выполнено полностью.</p>	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
курсовые работы	Оценивание проходит в форме публичной защиты студентом отчета перед преподавателем. Защита отчета состоит в коротком докладе с презентацией (5-7 минут) студента и в ответах на вопросы по существу отчета. Максимальное число баллов за отчет - 40 баллов. Максимальное число баллов за презентацию - 10 баллов. Максимальное число баллов за доклад - 10 баллов. Итого 60 баллов Отлично: 51-60 баллов Хорошо: 45-50 баллов Удовлетворительно: 36-49 баллов Неудовлетворительно: 0-35 баллов	В соответствии с п. 2.7 Положения
экзамен	После окончания экзамена баллы, заработанные на экзамене (максимум 40 баллов) складываются с баллами, заработанными в семестре (задачи №9-13 семестрового задания и два контрольных теста (максимум 60 баллов)). Определяется итоговый рейтинг обучающегося путем деления суммарного числа баллов, набранного студентом на экзамене и в семестре, на максимальное число баллов (100 баллов). Отлично: Величина рейтинга обучающегося 85...100 %. Хорошо: Величина рейтинга обучающегося 75...84 %. Удовлетворительно: Величина рейтинга обучающегося 60...74 %. Неудовлетворительно: Величина рейтинга обучающегося 0...59 %	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПК-1	Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой	+		+	+	+	+	+	+	+
ПК-1	Умеет: решать задачи об определении собственных частот и форм колебаний механических систем с распределенной массой	+		+	+	+	+	+	+	+
ПК-1	Имеет практический опыт: применения пакета Ansys Workbench для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой	+		+	+	+	+	+	+	+
ПК-2	Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний нелинейных систем с одной степенью свободы	+	+							++
ПК-2	Умеет: выполнять численное интегрирование уравнений движения нелинейных систем с одной степенью свободы	+	+							++
ПК-2	Имеет практический опыт: применения пакета Mathcad для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой	+		+	+	+				++

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Политехника, 1990. - 272 с. ил.

2. Романов, В. А. Аналитическая динамика и теория колебаний Текст учеб. пособие В. А. Романов, О. К. Слива ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Прикладная механика, динамика и прочность машин ; ЮУрГУ. - 3-е изд., перераб. и доп. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2011. - 135, [1] с. ил. электрон. версия

3. Ильин, М. М. Теория колебаний Учеб. для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов в обл. машиностроения и приборостроения М. И. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов; Под ред. К. С. Колесникова; Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки"; Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - 2-е изд., стер. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. - 271 с. ил.

4. Бидерман, В. Л. Теория механических колебаний [Текст] Учебник для вузов по спец. "Динамика и прочность машин". - М.: Высшая школа, 1980. - 408 с. ил.

5. Каплун, А. Б. Ansys в руках инженера [Текст] практ. рук. А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева ; предисл. А. С. Шадского. - Изд. стер. - М.: URSS : ЛИБРОКОМ, 2014. - 269 с. ил.

*б) дополнительная литература:*

1. Бабаков, И. М. Теория колебаний Учеб. пособие для вузов И. М. Бабаков. - 4-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2004. - 592 с.

2. Караваев, В. Г. Теория колебаний механических систем Учеб. пособие к курсовой работе В. Г. Караваев, В. Н. Шеповалов, В. Ф. Штыкан; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Теорет. механика; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Теорет. механика; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2000. - 53,[1] с.

3. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современ. концепции, парадоксы и ошибки. - 3-е изд., перераб. - М.: Наука, 1979. - 384 с. ил.

4. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 1 Учеб. пособие для вузов. - М.: Издательство МГТУ, 1994. - 307 с. ил.

5. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 2 Учеб. пособие для вузов. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. - 262,[1] с. ил.

6. Яблонский, А. А. Курс теории колебаний [Для машиностроит. спец. вузов]. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высшая школа, 1975. - 248 с. ил.

*в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:*  
Не предусмотрены

*г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:*

1. Романов, В. А., Слива О. К. Аналитическая динамика и теория колебаний. Учебное пособие / В. А. Романов, О. К. Слива. – Челябинск, Издательский Центр ЮУрГУ, 2011. – 136 с.

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

**Электронная учебно-методическая документация**

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Стрелков, С. П. Введение в теорию колебаний : учебник для вузов / С. П. Стрелков. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 440 с. — ISBN 978-5-8114-7343-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/158954">https://e.lanbook.com/book/158954</a> (дата обращения: 26.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Алдошин, Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний : учебное пособие / Г. Т. Алдошин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-1460-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/168476">https://e.lanbook.com/book/168476</a> (дата обращения: 26.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Основы работы в ANSYS 17 / Н. Н. Федорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов, Ю. В. Захарова. — Москва : ДМК Пресс, 2017. — 210 с. — ISBN 978-5-97060-425-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/90112">https://e.lanbook.com/book/90112</a> (дата обращения: 26.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Алдошин, Г. Т. Аналитическая динамика и теория колебаний : учебное пособие / Г. Т. Алдошин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-3432-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/169293">https://e.lanbook.com/book/169293</a> (дата обращения: 26.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Гуськов, А. М. Анализ колебаний консервативных нелинейных систем с одной степенью свободы : учебное пособие / А. М. Гуськов, С. В. Ярьско. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 41 с. — ISBN 978-5-7038-3650-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/52261">https://e.lanbook.com/book/52261</a> (дата обращения: 26.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Office(бессрочно)
2. PTC-MathCAD(бессрочно)
3. Dassault Systèmes-SolidWorks Education Edition 500 CAMPUS(бессрочно)
4. Math Works-MATLAB, Simulink R2014b(бессрочно)
5. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	334 (2)	Компьютерный класс – 12 шт. Компьютеры Intel Pentium Core i5, 8 Гб ОЗУ, 512 Мб HDD, монитор Acer 20", клавиатура, мышь, предустановленное лицензионное ПО Solidworks, Ansys, MathCAD
Лекции	336 (2)	Проектор, экран, Компьютер Intel Pentium Core i3, 4 Гб ОЗУ, 512 Мб HDD, монитор Acer 20", клавиатура, мышь, предустановленное лицензионное ПО Solidworks, Ansys, MathCAD
Лабораторные занятия	334 (2)	Компьютерный класс – 12 шт. Компьютеры Intel Pentium Core i5, 8 Гб ОЗУ, 512 Мб HDD, монитор Acer 20", клавиатура, мышь, предустановленное лицензионное ПО Solidworks, Ansys, MathCAD