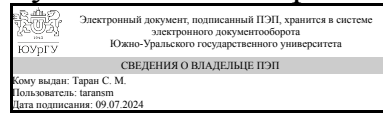


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель направления



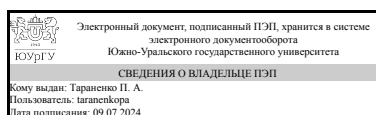
С. М. Таран

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.08 Экспериментальный модальный анализ  
для направления 09.04.01 Информатика и вычислительная техника  
уровень Магистратура  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Техническая механика

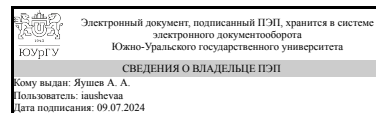
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 918

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



П. А. Тараненко

Разработчик программы,  
к.техн.н., доцент



А. А. Яушев

## 1. Цели и задачи дисциплины

Развитие у студентов представления о месте и роли расчетных и экспериментальных методов динамики изделий при построении и анализе основных физических моделей, при проведении модальных и вибропрочностных испытаний.

Приобретение опыта по планированию и проведению экспериментов, анализа их результатов и построения компьютерных моделей, верифицированных результатами испытаний. Формирование умения комплексно решать инженерные задачи о динамике изделий путем построения расчетной схемы, записи дифференциальных уравнений движения, выбора метода решения, последующего анализа результатов расчета, экспериментальной оценки динамических характеристик, сравнения результатов расчета и эксперимента, уточнению математической модели по экспериментальным данным и выработки практических рекомендаций. Достижение этих целей позволит выпускнику оценивать прочность различных конструкций при вибрационных воздействиях и строить адекватные динамические модели механических систем.

## Краткое содержание дисциплины

Основные задачи динамики машин; построение расчетных схем и математических моделей. Вибрационные, ударные воздействия и переходные процессы в конструкциях, машинах, оборудовании и аппаратуре. Характеристики внешних динамических воздействий. Единицы измерения вибраций и шума. Расчетный и экспериментальный модальный анализ. Метод суперпозиции мод. Способы возбуждения и измерения колебаний. Определение собственных частот, форм и декрементов колебаний по результатам модальных испытаний. Оценка отклика объектов на действие виброударных нагрузок. Прямые и идентификационные методы построения динамических моделей машин, оборудования и аппаратуры. Системы виброударозащиты объектов. Верификация математической модели по результатам модальных испытаний. Критерии сравнения расчетной модели с результатами испытаний. Уточнение математической модели по экспериментальным данным. Способы корректировки модели. Оптимизация параметров модели.

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен планировать работы и разрабатывать конструкции двигателей и автотранспортных средств на основе сложных конечноэлементных расчетов и результатов междисциплинарного анализа динамики и прочности их узлов и агрегатов; разрабатывать методики и проводить виртуальные испытания различных подсистем двигателей и автотранспортных средств	Знает: основные расчетные и экспериментальные методы определения собственных частот и форм конструкций; основные методы идентификации динамических характеристик механических систем (собственных частот, форм и декрементов колебаний) по экспериментальным данным; метод суперпозиции собственных форм; метод комплексных амплитуд Умеет: расчетным и экспериментальным путем строить амплитудно-частотную характеристику; определять собственные частоты и формы, декременты колебаний по результатам виброиспытаний и экспериментального

	<p>модального анализа  Имеет практический опыт: владения современной аппаратурой и программным обеспечением; экспериментального определения собственных частот и форм конструкций по результатам модальных и вибропрочностных испытаний</p>
<p>ПК-4 Способен разрабатывать комплексные междисциплинарные функциональные модели двигателей, автотранспортных систем и их компонентов, выполнять расчеты и анализировать результаты расчета разработанных моделей, работать с современными передовыми системами управления инженерными данными об узлах и агрегатах изделия</p>	<p>Знает: критерии подтверждения (проверки) адекватности создаваемой модальной математической модели  Умеет: выполнять расчеты установившихся вынужденных колебаний методом суперпозиции собственных форм в современных конечноэлементных пакетах; сопоставлять расчетные и экспериментальные собственные формы колебаний; создавать математическую модель динамической системы, верифицированную по результатам модальных испытаний  Имеет практический опыт: использования МАС критерия для сопоставления расчетных и экспериментальных собственных форм; корректировки (уточнения) расчетной модальной математической модели по экспериментальным данным</p>

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
<p>1.Ф.04 Твердотельная динамика,  1.О.08 Применение метода конечных элементов при построении цифровых двойников,  1.О.12 Функциональное моделирование процессов и систем,  ФД.03 Цифровые двойники в транспортном машиностроении,  1.О.10 Компьютерное моделирование в Ansys Workbench,  Производственная практика (эксплуатационная) (3 семестр),  Учебная практика (технологическая, проектно-технологическая) (2 семестр)</p>	<p>Не предусмотрены</p>

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

Дисциплина	Требования
<p>1.О.08 Применение метода конечных элементов при построении цифровых двойников</p>	<p>Знает: типичные расчетные случаи, рассчитанные на предотвращение критической ситуации, связанной с нарушением прочности конструкции, типовые задачи, решаемые методом конечных элементов в современных</p>

	<p>системах САЕ, причины нарушения работоспособности элементов конструкции; виды расчетных случаев, применяемых в прочностных расчетах; интерфейс и основы работы в широко распространенных современных САД и САЕ системах, основанных на применении метода конечных элементов, основы метода конечных элементов Умеет: на основе системного подхода решать задачи методом конечных элементов, вырабатывать стратегию действий для предотвращения нарушения прочности конструкции, обосновывать выбор метода расчета, создавать адекватные геометрические модели деталей и механизмов для инженерного анализа; эффективно разбивать детали на конечные элементы; вычислять и анализировать поля напряжений, деформаций и перемещений при статическом, динамическом и тепловом воздействии; выполнять расчеты на устойчивость; делать многовариантные расчеты и выполнять параметрическую оптимизацию; анализировать результаты расчетов и формулировать выводы, корректировать геометрические модели изделия для последующего построения конечноэлементной модели; создавать конечноэлементные модели механических систем, выполнять их расчет, анализировать результаты расчета конечноэлементных моделей; Имеет практический опыт: решения задач в современных системах САЕ, основанных на использовании метода конечных элементов, анализа проблемной ситуации, разработки адекватной расчетной конечноэлементной модели, анализа результатов и формулировки выводов , владения современными конечноэлементными пакетами; расчета динамики и прочности конечноэлементных моделей конструкций</p>
<p>1.О.12 Функциональное моделирование процессов и систем</p>	<p>Знает: современные методы построения функциональных моделей процессов и систем на схемном уровне; современные методы построения расчетных 3D моделей динамических систем, теоретические основы и методы компьютерного моделирования механических, электрических, пневматических, гидравлических систем и систем управления в виде функциональных элементов, обладающих входом и выходом Умеет: разрабатывать математические модели процессов в двигателях и автомобилях на схемном уровне (1D модели); разрабатывать гибридные математические модели подсистем двигателей и автомобилей, представляющие собой сочетание 3D моделей и 1D моделей, создавать функциональные</p>

	<p>математические модели механических, электрических, пневматических, гидравлических систем и систем управления, соединять их с твердотельными 3D моделями элементов конструкций, решать задачу твердотельной динамики и определять перемещения, скорости, ускорения основных элементов механической системы и характерные параметры других подсистем Имеет практический опыт: создания гибридных математических моделей подсистем двигателя и автомобиля, представляющих собой сочетание 3D моделей (твердотельных или конечноэлементных) и 1D моделей (функциональных); использования программного обеспечения для имитационного моделирования, программного обеспечения твердотельной динамики и их совместной работы в режиме ко-симуляции, владения современным программным обеспечением по созданию математических моделей механических, электрических, пневматических, гидравлических систем и систем управления; создания функциональных моделей подсистем двигателей; создания функциональных моделей специальных автомобилей и их подсистем</p>
<p>1.О.10 Компьютерное моделирование в Ansys Workbench</p>	<p>Знает: этапы создания компьютерной модели различных процессов; основы компьютерного моделирования процессов с использованием специализированных компьютерных программ на уровне решения стандартных, а также нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, возможности пакета программ Ansys Workbench компьютерного моделирования взаимодействия деформируемого твердого тела с потоком жидкости или газа, о программных продуктах, методах и алгоритмах компьютерного моделирования взаимодействия деформируемого твердого тела с потоком жидкости или газа; современные зарубежные комплексы обработки информации и автоматизированного проектирования; Умеет: использовать методы компьютерного моделирования взаимодействия деформируемого твердого тела с потоком жидкости или газа; решать стандартные и нестандартные задачи взаимодействия деформируемого твердого тела с потоком жидкости или газа, осваивать и применять в профессиональной деятельности современные теории, физико-математические и вычислительные методы компьютерного инжиниринга, правильно организовать процесс компьютерного моделирования; создавать компьютерные модели междисциплинарных процессов Имеет практический опыт: компьютерного моделирования взаимодействия</p>

	<p>деформируемого твердого тела с потоком жидкости или газа; решения стандартных и нестандартных задач, построения вычислительных моделей взаимодействия деформируемого твердого тела с потоком жидкости или газа, компьютерного моделирования процессов с помощью специализированных компьютерных программ; анализа и описания результатов компьютерного моделирования; оформления и представления результатов создания компьютерной модели</p>
<p>ФД.03 Цифровые двойники в транспортном машиностроении</p>	<p>Знает: методы разработки математических моделей автомобиля и его подсистем различного уровня Умеет: использовать методы математического моделирования для разработки и расчета процессов в автомобиле и его подсистемах с целью оценки требований технического задания на ранних стадиях проектирования Имеет практический опыт: разработки и исследования виртуальных моделей автомобиля и его подсистем на ранних стадиях проектирования в пакетах функционального моделирования; расчета процессов в автомобиле и его подсистемах в пакетах твердотельной динамики и функционального моделирования</p>
<p>1.Ф.04 Твердотельная динамика</p>	<p>Знает: теоретические основы и методы компьютерного моделирования систем, представляющих собой сборку из абсолютно твердых тел Умеет: разрабатывать виртуальные модели исследуемых механических систем, в максимальной степени учитывающие особенности их конструкции; выполнять расчёт параметров конструкции, определяющих ее работоспособность и точность (перемещения, скорости и ускорения точек, действующие нагрузки); выполнять оптимизацию параметров конструкции Имеет практический опыт: работы с пакетами многотельной динамики (MultiBody Dynamics) для компьютерного моделирования динамических систем, состоящих из абсолютно твердых тел</p>
<p>Учебная практика (технологическая, проектно-технологическая) (2 семестр)</p>	<p>Знает: пределы своих возможностей в условиях ограниченности ресурсов; способы совершенствования и развития своего интеллектуального и общекультурного уровней; приемы профессионального и личностного саморазвития с учетом возможностей карьерного роста и требований рынка труда и собственных целевых установок, методы управления проектами; этапы жизненного цикла проекта, методы и подходы к созданию междисциплинарных моделей процессов в двигателях и транспортных средствах; методики выполнения виртуальных испытаний различных подсистем двигателей и автотранспортных средств, программное и аппаратное обеспечение</p>

	<p>информационных и автоматизированных систем для решения профессиональных задач; жизненный цикл программного обеспечения, современные информационно-коммуникационные и интеллектуальные технологии, инструментальные среды, программно-технические платформы для решения профессиональных задач Умеет: изучать и решать проблемы на основе неполной или ограниченной информации; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков; анализировать ситуацию в профессиональной деятельности и определять на ее основе актуальные для себя траектории профессионального развития, разрабатывать и анализировать альтернативные варианты проектов для достижения намеченных результатов; разрабатывать проекты, определять целевые этапы и основные направления работ, разрабатывать связанные междисциплинарные модели процессов в двигателях и транспортных средствах, применять технологии проектирования программного обеспечения; разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем, выбирать методы и средства для решения профессиональных задач с применением современных интеллектуальных технологий, а также разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства Имеет практический опыт: оптимального использования ресурсов для выполнения поставленной задачи; построения и реализации собственной траектории профессионального саморазвития на основе анализа потребностей профессиональной сферы деятельности, разработки исследовательских проектов в профессиональной сфере; методами оценки эффективности проекта, а также потребности в ресурсах, выполнения конечноэлементных расчетов на прочность, газодинамических расчетов, тепловых расчетов и связанных расчетов применительно к автомобилям и двигателям, разработки и модернизации программного и аппаратного обеспечения информационных и автоматизированных систем для решения профессиональных задач, разработки оригинальных алгоритмов и программных средств для решения профессиональных задач</p>
<p>Производственная практика (эксплуатационная) (3 семестр)</p>	<p>Знает: зарубежные и отечественные комплексы обработки информации и системы автоматизированного проектирования, теоретические и практические аспекты</p>

эффективного управления разработкой программных средств и проектов, методы разработки комплексных междисциплинарных функциональных моделей двигателей, автомобилей и их подсистем, вопросы, проблемы, тенденции развития, научные и прикладные достижения математических и естественных наук и использует эти знания для анализа предметной области и разработки новых методов решения нестандартных профессиональных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, современные и актуальные методы организации принятия решений на основе критического анализа предметной области и обработки результатов исследований Умеет: адаптировать зарубежные комплексы обработки информации и автоматизированного проектирования к нуждам отечественных предприятий, осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов, оценивать эффективность и качество, работать с современными программными пакетами моделирования подсистем автомобилей и двигателей, выполнять расчеты и анализировать результаты, самостоятельно приобретать, анализировать, развивать и применять базовые математические, естественнонаучные и профессиональные знания для решения нестандартных профессиональных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, проводить системный анализ на основе собранных данных и формировать на его основе стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации Имеет практический опыт: применения и адаптации зарубежных комплексов обработки информации и систем автоматизированного проектирования для решения актуальных задач отечественных предприятий, эффективного управления процессом разработки проекта, мониторинга его хода и корректировки процесса с целью повышения эффективности, построения функциональных моделей двигателей, автотранспортных систем и их компонентов, выполнения расчетов и анализа результатов, решения нестандартных профессиональных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, с применением математических, естественнонаучных и профессиональных знаний, анализа проблемной ситуации, определения причинно- следственных связей, а также разработки стратегий поведения при проблемных ситуациях



#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 40,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		4	
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72	
<i>Аудиторные занятия:</i>	36	36	
Лекции (Л)	12	12	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	24	24	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	31,75	31,75	
Лабораторная работа 2. Антивибратор в системе с распределенной массой	8	8	
Лабораторная работа 3. Исследование собственных и вынужденных колебаний системы с двумя степенями свободы	8	8	
Лабораторная работа 1. Собственные и вынужденные колебания балки	8	8	
Подготовка к зачету	7,75	7.75	
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
01	Расчетный модальный анализ	12	4	8	0
02	Экспериментальный модальный анализ	12	4	8	0
03	Верификация математической модели по результатам модальных испытаний	12	4	8	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
01	01	Введение в курс. Обзор литературы посвященной созданию динамических математических моделей, расчетный и экспериментальный модальный анализ. Расчетное определение собственных частот и форм системы с двумя и более степенями свободы. Примеры работ, посвященных созданию математических моделей, верифицированных результатами модальных испытаний, выполненных в ЮУрГУ.	2
02	01	Расчетный модальный анализ. Определение собственных частот и форм системы с двумя и более степенями свободы. Метод суперпозиции мод.	2
03	02	Экспериментальный модальный анализ. Способы возбуждения и измерения	2

		колебаний.	
04	02	Быстрое преобразование Фурье. Определение собственных частот, форм и декрементов колебаний по результатам модальных испытаний.	2
05	03	Верификация математической модели по результатам модальных испытаний. Критерии сравнения расчетной модели с результатами испытаний. Критерий модальной достоверности (MAC). Способы корректировки математической модели по результатам испытаний.	2
06	03	Оптимизация параметров модели. Автоматизированные расчетно-экспериментальные комплексы для создания цифровых двойников динамических систем. Пакеты LMS TestLab и LMS Virtual Lab.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
01	01	Собственные колебания системы с двумя и более степенями свободы.	2
02	01	Вынужденные колебания системы с двумя и более степенями свободы.	2
03	01	Динамический гаситель колебаний.	2
04	01	Расчет собственных и вынужденных колебаний балки и балки с антивибратором.	2
05	02	Лабораторная работа. Экспериментальное определение собственных частот и форм балки и балки с антивибратором с использованием ударного молотка и модального вибростенда.	2
06	02	Лабораторная работа. Вынужденные колебания балки с антивибратором. Получение амплитудно-частотной характеристики. Определение декремента колебаний.	2
07	02	Определение оптимальных точек для измерения и возбуждения колебаний при модальных испытаниях.	2
8	02	Лабораторная работа. Расчетно-экспериментальное определение собственных и вынужденных колебаний системы с двумя степенями свободы.	2
9	03	Верификация математической модели по результатам модальных испытаний. Критерий модальной достоверности (MAC).	2
10	03	Анализ причин несоответствия расчетных и экспериментальных собственных частот и форм механической системы. Способы и критерии проверки адекватности результатов модальных испытаний и расчетов.	2
11	03	Оптимизация параметров расчетной модели.	2
11	03	Корректировка математической модели по результатам испытаний.	2

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Лабораторная работа 2. Антивибратор в системе с распределенной массой	Основная литература [1-4], дополнительная литература [2],	4	8

	методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1], отечественные и зарубежные печатные журналы [1-6]		
Лабораторная работа 3. Исследование собственных и вынужденных колебаний системы с двумя степенями свободы	Основная литература [1,4], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	4	8
Лабораторная работа 1. Собственные и вынужденные колебания балки	Основная литература [1-4], дополнительная литература [4], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	4	8
Подготовка к зачету	Основная литература [1-4], дополнительная литература [1-5], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1], отечественные и зарубежные печатные журналы [1-6]	4	7,75

## 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-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	4	Текущий контроль	Лабораторная работа 1. Собственные и вынужденные колебания балки.	1	24	Состоит из 8 заданий, каждое задание по 3 балла. 3 балла если задание выполнено полностью, даны правильные ответы на дополнительные вопросы; 2 балла если задание выполнено, но имеются незначительные ошибки или даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 1 балл если задание выполнено, но имеются незначительные ошибки и даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 0 баллов если задание не выполнено.	зачет
2	4	Текущий контроль	Лабораторная работа 2. Антивибратор в системе с распределенной массой	1	18	Состоит из 6 заданий, каждое задание по 3 балла. 3 балла если задание выполнено полностью, даны правильные ответы на дополнительные вопросы; 2 балла если задание выполнено, но имеются	зачет

						незначительные ошибки или даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 1 балл если задание выполнено, но имеются незначительные ошибки и даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 0 баллов если задание не выполнено.	
3	4	Текущий контроль	Лабораторная работа 3. Исследование собственных и вынужденных колебаний системы с двумя степенями свободы	1	18	Состоит из 6 заданий, каждое задание по 3 балла. 3 балла если задание выполнено полностью, даны правильные ответы на дополнительные вопросы; 2 балла если задание выполнено, но имеются незначительные ошибки или даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 1 балл если задание выполнено, но имеются незначительные ошибки и даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 0 баллов если задание не выполнено.	зачет
4	4	Промежуточная аттестация	Зачет	-	40	Зачет состоит из четырех частей, каждая оценивается по 10 баллов. 1. Экспериментальное определение собственных частот и форм конструкции, вывод амплитудно-частотных характеристик в определенных точках. 2. Замер реальной конструкции, построение ее конечноэлементной модели, расчет собственных частот и форм. 3. Практическое задание. 4. Теоретический вопрос.	зачет

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Зачет состоит из двух этапов и четырех частей (каждая часть оценивается по 10 баллов). Первый этап. Каждому студенту в конце семестра (два последних практических занятия) выдается своя конструкция (например, сварной стальной уголок, пластина, балка и др.). Необходимо выполнить замер конструкции для дальнейшего построения конечноэлементной модели. С помощью экспериментального модального анализа определить собственные частоты и формы конструкции, вывести амплитудно-частотные характеристики в определенных точках. Подготовить конечноэлементную модель и рассчитать собственные частоты и формы. Второй этап. На зачете каждый студент тянет билет, состоящий из теоретического вопроса и задания, для выполнения которого необходимы расчетные и экспериментальные результаты	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

	первого этапа. В случае, если студент без уважительной причины не провел экспериментальный модальный анализ своей конструкции ему заранее выдаются готовые результаты испытаний и чертеж конструкции, но максимальный балл снижается на 10. Итоговая оценка (зачет) выставляется по сумме баллов за лабораторные работы и зачет. Всего 100 баллов. Зачет: 60-100 баллов. Незачет: менее 60 баллов.	
--	--	--

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ПК-3	Знает: основные расчетные и экспериментальные методы определения собственных частот и форм конструкций; основные методы идентификации динамических характеристик механических систем (собственных частот, форм и декрементов колебаний) по экспериментальным данным; метод суперпозиции собственных форм; метод комплексных амплитуд	+	+		+
ПК-3	Умеет: расчетным и экспериментальным путем строить амплитудно-частотную характеристику; определять собственные частоты и формы, декременты колебаний по результатам виброиспытаний и экспериментального модального анализа	+	+		+
ПК-3	Имеет практический опыт: владения современной аппаратурой и программным обеспечением; экспериментального определения собственных частот и форм конструкций по результатам модальных и вибропрочностных испытаний	+	+		+
ПК-4	Знает: критерии подтверждения (проверки) адекватности создаваемой модальной математической модели			+	+
ПК-4	Умеет: выполнять расчеты установившихся вынужденных колебаний методом суперпозиции собственных форм в современных конечноэлементных пакетах; сопоставлять расчетные и экспериментальные собственные формы колебаний; создавать математическую модель динамической системы, верифицированную по результатам модальных испытаний			+	+
ПК-4	Имеет практический опыт: использования МАС критерия для сопоставления расчетных и экспериментальных собственных форм; корректировки (уточнения) расчетной модальной математической модели по экспериментальным данным			+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Бидерман, В. Л. Теория механических колебаний Текст Учебник для вузов по спец. "Динамика и прочность машин". - М.: Высшая школа, 1980. - 408 с. ил.
2. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Политехника, 1990. - 272 с. ил.
3. Бабаков, И. М. Теория колебаний Учеб. пособие для вузов И. М. Бабаков. - 4-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2004. - 592 с.

4. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле Пер. с англ. Л. Г. Корнейчука; Под ред. Э. И. Григолюка. - М.: Машиностроение, 1985. - 472 с. Ил.
5. Феодосьев, В. И. Соппротивление материалов Учеб. для втузов. - 10-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. - 590,[1] с.

*б) дополнительная литература:*

1. 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.
2. Расчеты на прочность в машиностроении [Текст] Т. 3. Инерционные нагрузки. Колебания и ударные нагрузки. Выносливость. Устойчивость. В 3 т. С. Д. Пономарев, В. Л. Бидерман, К. К. Лихарев и др.; под ред. С. Д. Пономарева. - М.: Машгиз, 1959. - 1118 с. ил.
3. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 1 Учеб. пособие для втузов. - М.: Издательство МГТУ, 1994. - 307 с. ил.
4. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 2 Учеб. пособие для втузов. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. - 262,[1] с. ил.
5. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современ. концепции, парадоксы и ошибки. - 4-е изд., перераб. - М.: Наука, 1987. - 352 с. ил.

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

1. Межин В. С., Обухов В. В. Практика применения модальных испытаний для целей верификации конечно-элементных моделей конструкции изделий ракетно-космической техники //Космическая техника и технологии. – 2014. – №. 1. – С. 86-91.
2. Яушев А. А. и др. Расчетно-экспериментальное исследование частот и форм собственных колебаний сварного корпуса кориолисового расходомера //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2018. – Т. 10. – №. 1.
3. Бернс В.А. и др. Экспериментальный модальный анализ летательных аппаратов на основе монофазных колебаний // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – №4-1 (20). – С. 43-54.
4. Бернс В.А. О построении расчетных моделей динамических систем по результатам испытаний // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318 – № 2 – С. 15-20.
5. Клебанов Я.М. и др. Применение метода оценки соответствия экспериментальных и расчетных собственных частот для уточнения конечно-элементной модели изделия // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2013. – №1(37) – С. 118-126.

6. Нихамкин М.Ш., Соломонов Д.Г. Применение экспериментального модального анализа для идентификации параметров модели слоистого углепластика // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017. – №51. – С. 124-135.

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Романов В.А., Тараненко П.А. Аналитическая динамика и теория колебаний. Учебное пособие // Челябинск: ЮУрГУ. – 2019.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Стрелков, С.П. Введение в теорию колебаний. [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2005. — 440 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/603">http://e.lanbook.com/book/603</a> — Загл. с экрана.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Гуськов, А.М. Свободные колебания консервативных нелинейных систем с одной степенью свободы. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.М. Гуськов, С.В. Ярьско, С.В. Ярьско. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 44 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/52456">http://e.lanbook.com/book/52456</a> — Загл. с экрана.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. PTC-MathCAD(бессрочно)
2. Dassault Systèmes-SolidWorks Education Edition 500 CAMPUS(бессрочно)
3. 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
Лабораторные занятия	334 (2)	Компьютер, проектор, MathCAD, Ansys, Solidworks
Практические занятия и семинары	334 (2)	Компьютер, проектор, MathCAD, Ansys, Solidworks
Лекции	336 (2)	Компьютер, проектор

