ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель направления

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
ЮУрГУ
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Таран С. М.
Пользователь: taransm
Дата подписания: 09.07.2024

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.

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
ЮУрГУ
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Тараненко П. А.
Пользователь: taranenkopa
Дата подписания: 09.07.2024

П. А. Тараненко

Разработчик программы,
к.техн.н., доцент

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
ЮУрГУ
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Яушев А. А.
Пользователь: iaushevaa
Дата подписания: 09.07.2024

А. А. Яушев

Челябинск

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

	модального анализа Имеет практический опыт: владения современной аппаратурой и программным обеспечением; экспериментального определения собственных частот и форм конструкций по результатам модальных и вибропрочностных испытаний
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	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 MAC критерия для сопоставления расчетных и экспериментальных собственных форм; корректировки (уточнения) расчетной модальной математической модели по экспериментальным данным

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
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)	Не предусмотрены

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

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

	системах CAE, причины нарушения работоспособности элементов конструкции; виды расчетных случаев, применяемых в прочностных расчетах; интерфейс и основы работы в широко распространенных современных CAD и CAE 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 CAE, основанных на использовании метода конечных элементов, анализа проблемной ситуации, разработки адекватной расчетной конечноэлементной модели, анализа результатов и формулировки выводов , владения современными конечноэлементыми пакетами; расчета динамики и прочности конечноэлементных моделей конструкций
1.О.12 Функциональное моделирование процессов и систем	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

	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 мехханической 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
1.О.10 Компьютерное моделирование в Ansys Workbench	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

	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 созданиякомпьютерной модели
ФД.03 Цифровые двойники в транспортном машиностроении	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
1.Ф.04 Твердотельная динамика	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
Учебная практика (технологическая, проектно-технологическая) (2 семестр)	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 междцисциплинарных моделей процессов в двигателях и транспортных средствах; методики выполнения виртуальных испытаний различных подсистем двигателей и автотранспортных средств, программное и аппаратное обеспечение

	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 метолы 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
Производственная практика (эксплуатационная) (3 семестр)	Знает: зарубежные и отечественные комплексы обработки информации и системы автоматизированного проектирования, теоретические и практические аспекты

	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 адаптирования 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
Аудиторные занятия:	36	36
Лекции (Л)	12	12
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	24	24
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа (СРС)	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	Ведение 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-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется 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	Проме-жуточная 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 балов 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 MAC 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. Сопротивление 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: http://e.lanbook.com/book/603 — 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. Яресько, С.В. Яресько. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 44 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/52456 — 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