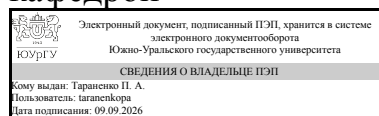


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей
кафедрой



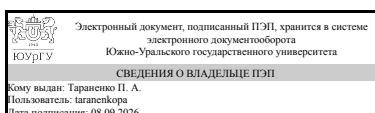
П. А. Тараненко

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.П0.04 Цифровые методы анализа динамики конструкций
для направления 15.03.03 Прикладная механика
уровень Бакалавриат
профиль подготовки Компьютерное моделирование и испытания
высокотехнологичных конструкций
форма обучения очная
кафедра-разработчик Техническая механика

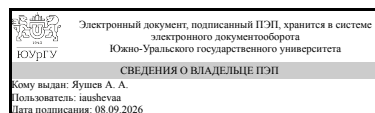
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 729

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



П. А. Тараненко

Разработчик программы,
к.техн.н., доцент



А. А. Юшев

1. Цели и задачи дисциплины

Развитие у студентов представления о месте и роли расчетных и экспериментальных методов динамики машин при построении и анализе основных физических моделей, при проведении модальных и вибропрочностных испытаний. Приобретение опыта творческой работы по выбору адекватных расчетных схем разнообразных объектов и интерпретации их поведения. Приобретение опыта по планированию и проведению экспериментов, анализа их результатов и построения компьютерных моделей. Формирование умения комплексно решать инженерные задачи о динамике машин путем построения расчетной схемы, записи дифференциальных уравнений движения, выбора метода решения, последующего анализа результатов расчета, экспериментальной оценки динамических характеристик, сравнения результатов расчета и эксперимента 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. Определение координат полюсов и вычетов систем со многими степенями свободы. Изучение программ Simcenter Amesim Student и ANSYS WB для анализа динамики конструкций. Оптимизация параметров модели. Способы возбуждения и измерения колебаний. Обзор оборудования, аппаратуры и программного обеспечения для модального анализа. Определение собственных частот, форм и декрементов колебаний по результатам модальных испытаний. Оценка отклика объектов на действие виброударных нагрузок. Системы виброударозащиты объектов.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
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: критерии устойчивости движения механических систем Умеет: оценивать устойчивость движения механических систем Имеет практический опыт: использования пакета имитационного моделирования Matlab/Simulink для решения задач о колебаниях динамических систем
ПК-3 Способен использовать наукоемкое экспериментальное оборудование для решения профессиональных задач; планировать и выполнять механические испытания элементов конструкций, обрабатывать и анализировать результаты	Знает: методы исследования автоколебательных систем Умеет: интегрировать уравнения движения автоколебательных систем и анализировать результаты расчета Имеет практический опыт: использования пакета

	имитационного моделирования Amesim для решения задач о колебаниях динамических систем
--	---

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Анализ механической системы твердых тел, Строительная механика оболочек, Статистическая механика, Теория колебаний континуальных систем, Цифровое моделирование динамики машин и механизмов, Теория колебаний, Аналитическая динамика, Основы расчетов на прочность в инженерной практике, Экспериментальная механика, Строительная механика пластин	Не предусмотрены

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

Дисциплина	Требования
Основы расчетов на прочность в инженерной практике	Знает: 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, современные подходы, в том числе, математические модели к определению предельных состояний элементов конструкций, возникающие при однократном, повторно-переменном и длительном (при повышенной температуре) нагружении Умеет: определять предельные состояния, включая образование трещин, на основе классических и технических теорий и методов, современных адекватных физико-механических, математических и компьютерных моделей, применять современные теории, физико-математические и численные методы исследования закономерностей реализации предельных состояний изделий в условиях однократного, повторно-переменного и длительного нагружения Имеет практический опыт: решения задач, связанных с определением различных предельных состояний, обладать навыками применения адекватных физико-механических, математических и компьютерных моделей, 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
Статистическая механика	Знает: основные положения теорий случайных чисел и случайных процессов, а также статистической динамики, методы схематизации случайных процессов, методы расчетной оценки долговечности деталей при многоцикловом случайном нагружении, способы поиска информации, необходимой для решения задач статистической механики Умеет: обрабатывать экспериментальные данные, получать статистические характеристики случайных процессов; получать частотные передаточные функции линейных динамических систем, выполнять схематизацию случайного процесса, получать расчетную оценку усталостной долговечности, критически анализировать информацию о свойствах материалов и условиях работы конструкции Имеет практический опыт: навыками использования пакета программ MathCad для обработки экспериментальных данных и получения функции спектральной плотности случайного процесса, получения расчетной оценки усталостной долговечности, подготовки технической документации
Аналитическая динамика	Знает: базовые фундаментальные, естественнонаучные положения аналитической динамики и теории колебаний, основные понятия, физические основы и методы математического анализа динамического поведения механических систем, основные понятия теории малых колебаний линейных систем с конечным числом степеней свободы 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), 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: записи дифференциальных уравнений движения в прямой форме, обратной форме, с помощью уравнений Лагранжа второго рода, анализа результатов решения задач динамического поведения механических систем с конечным числом степеней свободы, формулировки выводов и оформления отчетов о

	выполненных исследованиях, расчета установившихся и неуставившихся колебаний линейных консервативных систем с конечным числом степеней свободы
Теория колебаний континуальных систем	Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой, методы расчета собственных и вынужденных колебаний нелинейных систем с одной степенью свободы Умеет: решать задачи об определении собственных частот и форм колебаний механических систем с распределенной массой, выполнять численное интегрирование уравнений движения нелинейных систем с одной степенью свободы Имеет практический опыт: применения пакета Ansys Workbench для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой, применения пакета Mathcad для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой
Анализ механической системы твердых тел	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
Цифровое моделирование динамики машин и механизмов	Знает: теоретические основы и методы цифрового моделирования, современные пакеты 1D и 3D цифрового моделирования динамики сборок из абсолютно твердых тел Умеет: разрабатывать цифровые виртуальные модели исследуемых механических систем, учитывающих особенности их конструкции, определять кинематические и динамические параметры конструкции (перемещения, скорости и ускорения точек) Имеет практический опыт: работы с пакетами многотельной динамики (MultiBody Dynamics) для цифрового компьютерного моделирования динамических систем, кинематического и динамического анализа систем твердых тел
Экспериментальная механика	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
Строительная механика пластин	Знает: возможности современных численных методов решения задач о пластинах, основные гипотезы технической теории пластин Умеет: выбирать методы и приемы моделирования, обеспечивающие эффективность и адекватность расчетных моделей, записывать и решать определяющие уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние пластин Имеет практический опыт: применения соответствующих численных методов для определения напряженно-деформированного состояния конструкций из пластин, получения аналитических и численных (с использованием САЕ-программ) оценок напряженного состояния в задачах о пластинах
Строительная механика оболочек	Знает: возможности современных численных методов решения задач об оболочках, основные гипотезы технической теории оболочек Умеет: выбирать методы и приемы моделирования, обеспечивающие эффективность и адекватность 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
Теория колебаний	Знает: основные понятия, физические основы и методы математического анализа динамического поведения механических систем, базовые 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
--	--

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 28,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		8
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72
<i>Аудиторные занятия:</i>	24	24
Лекции (Л)	12	12
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	12	12
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	43,75	43,75
Задание 2	9	9
Подготовка к зачету	10,75	10.75
Задание 4	8	8
Задание 1	8	8
Задание 3	8	8
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
1	Расчетный модальный анализ	6	4	2	0
2	Программные пакеты для анализа динамики конструкции	10	4	6	0
3	Экспериментальный модальный анализ	8	4	4	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	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. Метод суперпозиции мод.	2

2	1	Расчетный модальный анализ. Колебания в неконсервативных системах. Понятие координаты полюса и вычета для системы с одной и несколькими степенями свободы. Нормальные и комплексные моды. Связь вычетов и форм мод.	2
3	2	Знакомство с программой Simcenter Amesim Student. Решение задач динамики. Динамическое гашение колебаний.	2
4	2	Параметрическая модель в программе ANSYS WB. Оптимизация параметров модели в программе ANSYS WB.	2
5	3	Экспериментальный модальный анализ. Способы возбуждения и измерения колебаний.	2
6	3	Быстрое преобразование Фурье. Определение собственных частот, форм и декрементов колебаний по результатам модальных испытаний.	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Собственные и вынужденные колебания системы с двумя и более степенями свободы.	2
2	2	Знакомство с программой Simcenter Amesim Student. Решение задач динамики в программе Simcenter Amesim Student.	2
3	2	Динамическое гашение колебаний. Моделирование эффекта антирезонанса в программе Simcenter Amesim Student.	2
4	2	Оптимизация параметров модели в программе ANSYS WB.	2
5	3	Определение собственных частот и форм механической системы с использованием ударного молотка и модального вибростенда.	2
6	3	Лабораторная работа. Экспериментальное определение собственных частот и форм балки.	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
Задание 2	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	9
Подготовка к зачету	Основная литература [1-3], дополнительная литература [1-3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	10,75
Задание 4	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном	8	8

	виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]		
Задание 1	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	8
Задание 3	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	8

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	8	Текущий контроль	Задание 1. Колебания в консервативной и неконсервативной системах	1	20	Состоит из четырех задач. 20 баллов – задание выполнено полностью, даны правильные ответы на дополнительные вопросы; 16-19 баллов – задание выполнено полностью, но имеются незначительные ошибки и (или) даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 11-15 баллов – правильно выполнено три из четырех задач; 6-10 баллов – правильно выполнено две из четырех задачи; 1-5 баллов – правильно выполнено одна из четырех задач. 0 баллов – задание не выполнено.	зачет
2	8	Текущий контроль	Задание 2. Оптимизация параметров балки	1	20	Состоит из четырех задач. 20 баллов – задание выполнено полностью, даны правильные ответы на дополнительные вопросы; 16-19 баллов – задание выполнено полностью, но имеются незначительные ошибки и (или) даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 11-15 баллов – правильно выполнено три из четырех задач; 6-10 баллов – правильно выполнено две из четырех задачи; 1-5 баллов – правильно выполнено одна из четырех задач. 0 баллов – задание не выполнено.	зачет
3	8	Текущий	Задание 3.	1	20	Состоит из восьми задач. Правильный	зачет

		контроль	Динамическое гашение колебаний (антивибратор в Amesim).			ответ на каждую задачу два балла, если имеются незначительные ошибки один балл. Дополнительные вопросы оцениваются по 4-балльной шкале. 20 баллов - задача об антивибраторе решена полностью в Amesim, даны правильные ответы на дополнительные вопросы.	
4	8	Текущий контроль	Задание 4. Динамическое гашение колебаний (антивибратор в MathCAD).	1	20	20 баллов - задача об антивибраторе решена полностью в MathCAD, даны правильные ответы на дополнительные вопросы; 19-17 баллов - задание выполнено полностью, но имеются незначительные ошибки и (или) даны неверные ответы на дополнительные вопросы; 13-16 баллов – правильно выполнено четыре из пяти задач; 9 -12 баллов – правильно выполнено три из пяти задач; 5-8 баллов – правильно выполнено две из пяти задач; 1-4 балла – правильно выполнено одна задача. 0 баллов – задание не выполнено.	зачет
5	8	Промежуточная аттестация	Зачет	-	20	Билет включает в себя два вопроса. Правильность ответа на каждый вопрос оценивается по 8-балльной шкале, плюс дополнительный вопрос, который оценивается по 4-балльной шкале.	зачет

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Для допуска на зачет необходимо сдать минимум три задания. Билет включает в себя два вопроса. Правильность ответа на каждый вопрос оценивается по 8-балльной шкале, плюс дополнительный вопрос, который оценивается по 4-балльной шкале. Итоговая оценка (зачет) выставляется по сумме баллов за задания и зачет. Всего 100 баллов. Зачет: 60-100 баллов Незачет: менее 60 баллов	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ KM				
		1	2	3	4	5
ПК-2	Знает: критерии устойчивости движения механических систем		+			+
ПК-2	Умеет: оценивать устойчивость движения механических систем		+			
ПК-2	Имеет практический опыт: использования пакета имитационного моделирования Matlab/Simulink для решения задач о колебаниях динамических систем		+			
ПК-3	Знает: методы исследования автоколебательных систем				++	
ПК-3	Умеет: интегрировать уравнения движения автоколебательных систем и анализировать результаты расчета				++	
ПК-3	Имеет практический опыт: использования пакета имитационного			+		

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. 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 подготовки дипломированных специалистов в области машиностроения и приборостроения М. М. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов; Под ред. К. С. Колесникова. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. - 271 с.
2. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 1 Учеб. пособие для втузов. - М.: Издательство МГТУ, 1994. - 307 с. ил.
3. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле Пер. с англ. Л. Г. Корнейчука; Под ред. Э. И. Григолюка. - М.: Машиностроение, 1985. - 472 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., 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

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Math Works-MATLAB, Simulink 2013b(бессрочно)
2. PTC-MathCAD(бессрочно)
3. Dassault Systèmes-SolidWorks Education Edition 500 CAMPUS(бессрочно)
4. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simploter, 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
Лекции	336 (2)	Компьютер, проектор
Практические занятия и семинары	334 (2)	Компьютер, проектор, MathCAD, ANSYS, Solidworks