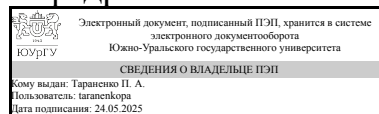


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей
кафедрой



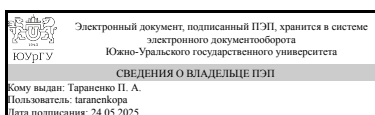
П. А. Тараненко

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

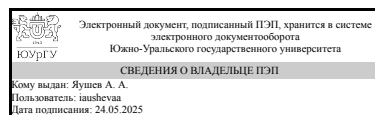
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 729

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



П. А. Тараненко

Разработчик программы,
к.техн.н., доцент



А. А. Яушев

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
Аналитическая динамика, Экспериментальная механика, Теория колебаний континуальных систем, Цифровое моделирование динамики машин и механизмов, Теория колебаний, Строительная механика пластин, Анализ механической системы твердых тел, Статистическая механика, Строительная механика оболочек, Основы расчетов на прочность в инженерной практике	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
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
Аналитическая динамика	Знает: основные понятия теории малых колебаний линейных систем с конечным числом степеней свободы, базовые фундаментальные, естественнонаучные положения аналитической динамики и теории колебаний, основные понятия, физические основы и методы математического анализа динамического поведения механических систем Умеет: выполнять расчет собственных частот и собственных форм малых колебаний линейных консервативных систем с конечным числом степеней свободы, 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 Имеет практический опыт: расчета установившихся и неуставившихся колебаний линейных консервативных систем с конечным числом степеней свободы, 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
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
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 CAE-программ) оценок напряженного состояния в задачах об оболочках
Цифровое моделирование динамики машин и механизмов	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 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
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 CAE-программ) оценок напряженного состояния в задачах о пластинах
Статистическая механика	Знает: методы схематизации случайных процессов, методы расчетной оценки долговечности деталей при многоцикловом случайном нагружении, основные положения теорий случайных чисел и случайных процессов, а также статистической динамики, способы поиска информации, необходимой для решения задач статистической механики Умеет: выполнять схематизацию случайного процесса, получать расчетную оценку усталостной долговечности, обрабатывать экспериментальные данные, получать статистические характеристики случайных процессов; получать частотные передаточные функции линейных динамических систем, критически анализировать информацию о свойствах материалов и условиях работы конструкции Имеет практический опыт: получения расчетной оценки усталостной долговечности, навыками использования пакета программ MathCad для обработки экспериментальных данных и получения функции спектральной плотности случайного процесса, подготовки технической документации
Теория колебаний континуальных систем	Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний нелинейных систем с одной степенью свободы, методы расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой Умеет: выполнять численное интегрирование уравнений движения нелинейных систем с одной степенью свободы, решать задачи об определении собственных частот и форм колебаний механических систем с распределенной массой Имеет практический

	опыт: применения пакета Mathcad для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой, применения пакета Ansys Workbench для расчета собственных и вынужденных колебаний систем с распределенной массой
--	--

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
		8
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
Задание 4	6	6
Подготовка к зачету	7,75	7.75
Задание 3	6	6
Задание 1	6	6
Задание 2	6	6
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	12	4	8	0
2	Программные пакеты для анализа динамики конструкции	14	4	10	0
3	Экспериментальный модальный анализ	10	4	6	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 колебания системы с двумя и более степенями свободы. Метод суперпозиции мод.	2
2	1	Колебания в неконсервативных системах. Определение модальной частоты (координаты полюса) неконсервативной системы с одной степенью свободы. Определение координат полюсов и вычетов систем с двумя и более степенями свободы.	2
3	1	Вынужденные колебания систем с двумя и более степенями свободы.	2
4	1	Сравнение методов суперпозиции мод консервативной и неконсервативной систем на примере системы с четырьмя степенями свободы.	2
5	2	Знакомство с программой Simcenter Amesim Student. Разбор примеров задач в программе Simcenter Amesim Student.	2
6	2	Решение задач динамики в программе Simcenter Amesim Student.	2
7	2	Динамическое гашение колебаний. Моделирование эффекта антирезонанса в программе Simcenter Amesim Student.	2
8	2	Модальный и гармонический анализ в программе ANSYS WB. Создание параметрических моделей,	2
9	2	Оптимизация параметров модели в программе ANSYS WB.	2
10	3	Определение собственных частот и форм механической системы с использованием ударного молотка и модального вибростенда.	2
11	3	Определение декремента колебаний по результатам модальных испытаний. Быстрое преобразование Фурье.	2
12	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 4	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	6
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	7,75
Задание 3	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	6
Задание 1	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	6
Задание 2	Основная литература [1-3], дополнительная литература [3], методические пособия в электронном виде [1], учебно-методические материалы в электронном виде [1]	8	6

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	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	Задание 2.	1	20	Состоит из четырех задач. 20 баллов –	зачет

		контроль	Оптимизация параметров балки			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.	
3	8	Текущий контроль	Задание 3. Динамическое гашение колебаний (антивибратор в Amesim).	1	20	Состоит из восьми задач. Правильный 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.	зачет
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 задачи; 5-8 баллов – правильно выполнено две из пяти задачи; 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	№ КМ				
		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 моделирования Amesim для решения задач о колебаниях динамических систем			+		

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 дипломир. 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, 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)	Компьютер, проектор, MathCAD, ANSYS, Solidworks
Лекции	336 (2)	Компьютер, проектор