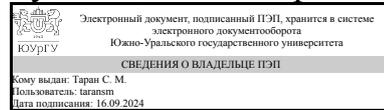


УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель направления



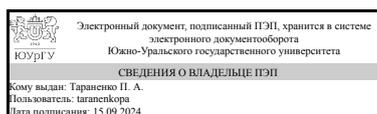
С. М. Таран

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.О.09 Цифровые двойники динамических систем
для направления 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
уровень Магистратура
форма обучения очная
кафедра-разработчик Техническая механика

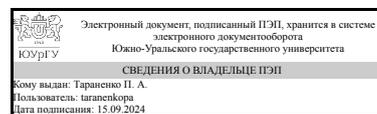
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 918

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



П. А. Тараненко

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



П. А. Тараненко

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 современной техники и интерпретации их поведения. Приобретение опыта проведения экспериментов, анализа их результатов и построения компьютерных моделей, верифицированных результатами испытаний. Формирование умения комплексно решать инженерные задачи о динамике и прочности машиностроительных конструкций и изделий путем построения расчетной схемы, записи дифференциальных уравнений движения, выбора метода решения, последующего анализа результатов расчета, экспериментальной оценки динамических характеристик, оценки прочности конструкции и выработки практических рекомендаций. Достижение этих целей позволит выпускнику оценивать прочность машиностроительных 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. Анализ несущих и промежуточных конструкций. Единицы измерения вибраций и шума. Излучение шума; распространение шума; влияние шума и вибрации на человеческий организм. Защита человека от вибрации. Постановка задачи виброударозащиты машин; динамические модели для решения задач виброударозащиты во временной и частотной областях. Оценка отклика объектов на действие виброударных нагрузок. Прямые и идентификационные методы построения динамических моделей машин, оборудования и аппаратуры. Системы виброударозащиты объектов. Структура систем виброударозащиты. Методы исследования пассивных и активных систем виброударозащиты. Оптимизация систем виброударозащиты. Определение оптимального управления виброизолируемыми объектами. Активные и регулируемые системы виброзащиты. Защита машин, оборудования и аппаратуры от нестационарных вибраций. Динамические расчеты рабочих режимов и балансировка роторных машин. Вибрация трубопроводов, кабелей и других протяженных сетей. Ветровой резонанс башенных сооружений. Критерии качества систем виброударозащиты. Виброизоляция. Управляемые системы виброизоляции. Динамическое гашение колебаний. Способы возбуждения вибрации, режимы вибронагружения и схемы виброиспытаний.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические,	Знает: критерии подтверждения (проверки) адекватности создаваемой модальной

<p>естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте</p>	<p>математической модели, основные расчетные и экспериментальные методы исследования динамических свойств изделий Умеет: создавать математические модели динамических систем, верифицированные по результатам модальных испытаний; определять динамические свойства изделий при виброиспытаниях и экспериментальном модальном анализе Имеет практический опыт: корректировки (уточнения) расчетной модальной математической модели по экспериментальным данным</p>
<p>ПК-1 Способен разрабатывать конструкции двигателей, транспортных средств и их компонентов с применением современных технологий цифровых двойников, анализировать влияние ключевых факторов на выходные характеристики изделий, внедрять и применять технологии цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла изделия</p>	<p>Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний динамических систем; методы экспериментального определения собственных частот и форм конструкций Умеет: определять собственные частоты и формы конструкций расчетным и экспериментальным путем; сопоставлять расчетные и экспериментальные собственные формы по МАС критерию. Имеет практический опыт: работы с современной аппаратурой и программным обеспечением для проведения и обработки результатов модальных и вибропрочностных испытаний</p>

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
<p>ФД.01 Технологии цифровых двойников, 1.Ф.10 Основы автоматизированного проектирования, 1.О.11 Современное программное обеспечение построения цифровых двойников, 1.О.04 Цифровые двойники как компонент индустрии 4.0, 1.Ф.06 Мониторинг состояния конструкций, Учебная практика (ознакомительная) (1 семестр)</p>	<p>1.Ф.09 Управление жизненным циклом изделия</p>

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

Дисциплина	Требования
<p>ФД.01 Технологии цифровых двойников</p>	<p>Знает: концепцию цифровых двойников; основные подходы к определению понятия "цифровой двойник"; основные подходы к валидации и верификации моделей Умеет: использовать подходы к созданию цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла изделия Имеет практический опыт: создания</p>

	цифровых двойников машиностроительных конструкций на стадии проектирования
1.Ф.10 Основы автоматизированного проектирования	<p>Знает: методы и средства компьютерной графики и геометрического моделирования, особенности разработки и редактирования САД-моделей узлов и механизмов транспортных средств, передовые информационные технологии и компьютерные программы для 3D-моделирования узлов и механизмов транспортных средств</p> <p>Умеет: графически представлять 2D и 3D-объекты; создавать и редактировать изображения, разрабатывать САД-модели, подготавливать геометрические модели деталей и механизмов для инженерного анализа</p> <p>Имеет практический опыт: использования современного программного обеспечения в области разработки САД-моделей, работы в современных компьютерных программах САД-моделирования</p>
1.О.04 Цифровые двойники как компонент индустрии 4.0	<p>Знает: Концепцию четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0), отличие Индустрии 4.0 от предыдущих промышленных революций; цели и задачи ключевых технологий Индустрии 4.0; Умеет: анализировать и сопоставлять комплексное применение ключевых технологий Индустрии 4.0</p> <p>Имеет практический опыт: самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач цифровой трансформации, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте</p>
1.О.11 Современное программное обеспечение построения цифровых двойников	<p>Знает: математические основы и способы построения моделей автомобилей, двигателей и их подсистем, законы, способы и алгоритмы управления, современные методы построения моделей подсистем автомобилей и двигателей на схемном уровне</p> <p>Умеет: формировать на схемном уровне модели подсистем двигателей и автомобилей и изделий в целом, производить настройку и отладку систем управления, формулировать цели и задачи при проектировании автомобилей и двигателей; создавать имитационные модели подсистем автомобилей и двигателей</p> <p>Имеет практический опыт: применения программного обеспечения имитационного моделирования для построения моделей двигателей, автомобилей и их подсистем, владения современным программным обеспечением расчетного анализа процессов в двигателях и автомобилях</p>
Учебная практика (ознакомительная) (1 семестр)	Знает: современные методы получения информации в области профессиональной деятельности, отечественные и зарубежные наукометрические базы данных статей; методы и

	<p>средства анализа структурирования профессиональной информации; инструменты подготовки аналитических обзоров и презентаций результатов своей работы; оформления выводов и рекомендаций, основные принципы организации собственного труда, базовые принципы самооценки, конструкции двигателей и транспортных средств и ключевые факторы, влияющие на их выходные характеристики и этапы жизненного цикла; современные технологии разработки цифровых двойников</p> <p>Умеет: применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации; анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров и презентаций с обоснованными выводами и рекомендациями, оценивать свои личностные ресурсы для успешного выполнения порученного задания, эффективно планировать и распределять время на этапы работы, разрабатывать конструкции двигателей и транспортных средств и их компонентов с применением современных технологий цифровых двойников, анализировать влияние ключевых факторов на выходные характеристики изделий</p> <p>Имеет практический опыт: анализа профессиональной информации, подготовки научных докладов, публикаций, аналитических обзоров и презентаций с обоснованными выводами и рекомендациями, оценки своих личностных и временных ресурсов для успешного выполнения порученного задания, создания/совершенствования конструкции двигателей, транспортных средств и их компонентов с применением современных технологий цифровых двойников</p>
--	---

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 56,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108	
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48	
Лекции (Л)	16	16	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	

Самостоятельная работа (СРС)	51,5	51,5
Подготовка к экзамену	51,5	51,5
Консультации и промежуточная аттестация	8,5	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
01	Свободные и установившиеся вынужденные колебания линейных механических систем с одной степенью свободы	8	4	4	0
02	Колебания систем с несколькими степенями свободы	12	6	6	0
03	Колебания систем с распределенной массой	14	2	12	0
04	Виброизоляция и виброгашение	8	4	4	0
05	Случайные колебания	6	0	6	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
01	01	Амплитудно-частотная характеристика системы с одной степенью свободы. Понятие о передаточной функции	2
02	01	Численное интегрирование уравнений движения	2
03	02	Уравнения движения механической системы с двумя степенями свободы	2
04	02	Метод комплексных амплитуд	2
05	02	Метод разложения по собственным формам. Реализация метода разложения по собственным формам в Ansys Workbench. MCF (Modal Coordinate File)	2
06	03	Собственные частоты и формы поперечных колебаний балки с распределенной массой	2
07	04	Виброизоляция.	2
08	04	Динамическое гашение колебаний. Пружинный динамический гаситель без трения.	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
01	01	Численное интегрирование уравнения движения системы с одной степенью свободы в MathCAD при вынужденных колебаниях и гармоническом приложении нагрузки	2
02	01	Построение АЧХ системы с одной степенью свободы в MathCAD и в Ansys	2
03	02	Определение собственных частот и форм системы с двумя степенями свободы в MathCAD и Ansys	2
04	02	Построение АЧХ системы с двумя степенями свободы в MathCAD и в Ansys методом комплексных амплитуд	2
05	02	Построение АЧХ системы с двумя степенями свободы в MathCAD и в Ansys методом разложения по собственным формам	2
06	03	Определение собственных частот и форм поперечных колебаний балки с	2

		распределенной массой в Ansys и MathCAD	
07	03	Собственные частоты изгибных колебаний шарнирно опертого стержня с учетом продольной силы	2
08	03	Определение собственных частот и форм механической системы, состоящей из трех балок, методом подконструкций в Ansys Workbench	2
09	03	Решение задачи о вынужденных колебаниях континуальной механической системы с использованием модального демпфирования (Modal Damping)	2
10	03	MCF (Modal Coordinate File). Решение задачи о вынужденных колебаниях при силовом возбуждении методом суперпозиции собственных форм. Построение АЧХ	2
11	03	MCF (Modal Coordinate File). Решение задачи о вынужденных колебаниях при кинематическом возбуждении методом суперпозиции собственных форм.	2
12	04	Решение задачи виброизоляции	2
13	04	Исследование динамики механической системы с антивибратором	2
14	05	Random Vibration. Решение задач о случайном возбуждении в Ansys Workbench. Решение задачи о вынужденных колебаниях при случайном возбуждении с использованием модуля Ansys Workbench Random Vibration	2
15	05	Ansys Fatigue. Решение задач усталостной долговечности в Ansys Workbench. Решение задачи усталостной долговечности с использованием модуля Ansys Fatigue Module	2
16	05	Решение задачи о вынужденных колебаниях при случайном возбуждении с использованием модуля Ansys Workbench Spectrum Response.	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
Подготовка к экзамену	1	3	51,5

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

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

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
3	3	Текущий контроль	Семестровое задание. Решение задач	1	50	Семестровое задание состоит из заданий общим объемом 50 баллов. После выполнения задач считается	экзамен

			динамики			рейтинг как отношение зачетных задач к общему числу баллов	
4	3	Промежуточная аттестация	экзамен	-	100	Билет включает в себя два вопроса. Правильность ответа на каждый вопрос оценивается по 50-балльной шкале.	экзамен

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Билет включает в себя два вопроса. Правильность ответа на каждый вопрос оценивается по 50-балльной шкале. Отлично: 86 и более баллов Хорошо: 75-85 баллов Удовлетворительно: 61-65 баллов Неудовлетворительно: менее 61 балла	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ	
		3	4
ОПК-1	Знает: критерии подтверждения (проверки) адекватности создаваемой модальной математической модели, основные расчетные и экспериментальные методы исследования динамических свойств изделий	+	+
ОПК-1	Умеет: создавать математические модели динамических систем, верифицированные по результатам модальных испытаний; определять динамические свойства изделий при виброиспытаниях и экспериментальном модальном анализе	+	+
ОПК-1	Имеет практический опыт: корректировки (уточнения) расчетной модальной математической модели по экспериментальным данным	+	+
ПК-1	Знает: методы расчета собственных и вынужденных колебаний динамических систем; методы экспериментального определения собственных частот и форм конструкций	+	+
ПК-1	Умеет: определять собственные частоты и формы конструкций расчетным и экспериментальным путем; сопоставлять расчетные и экспериментальные собственные формы по МАС критерию.	+	+
ПК-1	Имеет практический опыт: работы с современной аппаратурой и программным обеспечением для проведения и обработки результатов модальных и вибропрочностных испытаний	+	+

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. Григолоука. - М.: Машиностроение, 1985. - 472 с. Ил.
5. Каплун, А. Б. Ansys в руках инженера [Текст] практ. рук. А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева ; предисл. А. С. Шадского. - Изд. стер. - М.: URSS : ЛИБРОКОМ, 2014. - 269 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. 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. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 1 Учеб. пособие для вузов. - М.: Издательство МГТУ, 1994. - 307 с. ил.
3. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 2 Учеб. пособие для вузов. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. - 262,[1] с. ил.
4. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современ. концепции, парадоксы и ошибки. - 3-е изд., перераб. - М.: Наука, 1979. - 384 с. ил.
5. Костюк, А. Г. Динамика и прочность турбомашин [Текст] учебник для вузов по направлению "Энергомашиностроение" А. Г. Костюк. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 474 с. ил.
6. Яблонский, А. А. Курс теории колебаний [Для машиностроит. спец. вузов]. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высшая школа, 1975. - 248 с. ил.
7. Поршневу, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB [Текст] учеб. пособие для вузов С. В. Поршневу. - 2-е изд., испр. - СПб. и др.: Лань, 2011. - 726 с. ил. 1 электрон. опт. диск

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

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Романов, В. А. Аналитическая динамика и теория колебаний : Учебное пособие / В. А. Романов, П. А. Тараненко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Кафедра «Техническая механика». – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – 177 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Романов, В. А. Аналитическая динамика и теория колебаний : Учебное пособие / В. А. Романов, П. А. Тараненко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский

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 : учебник для вузов / С. П. Стрелков. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 440 с. — ISBN 978-5-8114-7343-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/158954 (дата обращения: 29.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Гуськов, А. М. Анализ колебаний консервативных нелинейных систем с одной степенью свободы : учебное пособие / А. М. Гуськов, С. В. Ярьско. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 41 с. — ISBN 978-5-7038-3650-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/52261 (дата обращения: 29.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Основы работы в ANSYS 17 / Н. Н. Федорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов, Ю. В. Захарова. — Москва : ДМК Пресс, 2017. — 210 с. — ISBN 978-5-97060-425-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/90112 (дата обращения: 04.01.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Павлов, А. С. Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS : учебное пособие / А. С. Павлов. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2014. — 34 с. — ISBN 978-5-85546-825-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/63695 (дата обращения: 04.01.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. PTC-MathCAD(бессрочно)
2. Dassault Systèmes-SolidWorks Education Edition 500 CAMPUS(бессрочно)
3. Math Works-MATLAB, Simulink R2014b(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
Лабораторные занятия	328a (2)	Компьютер, телевизор, MathCAD, Ansys, Solidworks
Практические занятия и семинары	328a (2)	Компьютер, телевизор, MathCAD, Ansys, Solidworks
Лекции	328a (2)	Компьютер, телевизор