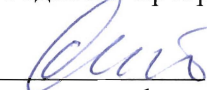


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры


О.Ю.Сметанников
д.т.н., профессор кафедры ВММБ

« 20 » « апрель » 2022 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Динамика деформируемых тел»

Научная специальность	1.1.8. Механика деформируемого твердого тела
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Механика деформируемого твердого тела
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Вычислительная математика, механика и биомеханика (ВММБ) Математическое моделирование систем и процессов (ММСП) Динамика и прочность машин (ДПМ) Прикладная физика (ПФ)
Форма обучения	Очная
Курс: 2	Семестр (ы): 3
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 3
	Диф.зачет:

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Динамика деформируемых тел» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1. Цель изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Динамика деформируемых тел» является формирование культуры применения существующих и разработки новых подходов, моделей и экспериментальных методик исследования динамических систем, необходимой при выполнении научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Динамика деформируемых тел» является дисциплиной по выбору из образовательного компонента учебного плана.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Кандидатский экзамен представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- методы качественного и количественного исследования колебательных и волновых явлений в конечномерных и распределенных механических системах, включая параметрические и нелинейные колебания и волны, автоколебания и автоволны, ударные волны, бифуркационных явлений и явлений параметрического резонанса, синхронизации;
- методы решения типовых прикладных задач – виброизоляции, автоматического регулирования, балансировки роторов;
- методы экспериментального исследования динамических явлений в конструкциях, современного экспериментального оборудования и современных методов модального анализа, виброиспытаний, верификации и подтверждения математических моделей.

Уметь:

- идентифицировать динамическое явление и выбирать подходящую теорию для исследования колебательных и волновых явлений в машинах и конструкциях;
- решать типовые и нестандартные прикладные задачи, включая задачи виброизоляции, балансировки роторов и др.;
- выбирать современное экспериментальное оборудование и прикладное программное обеспечение для исследования динамических явлений в машинах и конструкциях.

Владеть:

- навыками качественного и количественного исследования колебательных и волновых явлений в машинах и конструкциях;
- навыками применения методов модального анализа, вибрационных испытаний, верификации и подтверждения математических моделей динамического поведения конструкций;
- навыками экспериментального и численного исследования динамического поведения конструкций.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		3 семестр
1	Аудиторная работа	39
	В том числе:	
	Лекции (Л)	
	Практические занятия (ПЗ)	32
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	7
	Самостоятельная работа (СР)	69
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Теория колебаний и удара (ПЗ – 25, СР -50)

Тема 1. Нелинейные колебания. Основные модельные уравнения теории колебаний и нелинейных волн. Основные простейшие типы фундаментальных решений теории нелинейных колебаний и волн (периодические, волновые фронты, кинки, солитоны): уравнения Ван дер Поля, осциллятор Дуффинга, уравнение Хопфа, уравнения Бюргера, Кортевега - де Фриза, синус Гордон и др. Основные простейшие типы решений теории нелинейных колебаний и волн (периодические, волновые фронты, кинки, солитоны). Качественная теория динамических систем. Динамическая система. Фазовое пространство и фазовая плоскость. Классификация особых точек ОДУ. Бифуркация Андронова Хопфа. Основные простейшие типы фундаментальных решений теории нелинейных колебаний и волн (периодические, волновые фронты, кинки, солитоны).

Тема 2. Параметрические колебания и автоколебания. Маятник Капицы. Стабилизация неустойчивых состояний вибрациями. Уравнение Матье. Самосинхронизация. Регуляторы. Эффект Зоммерфельда. Линеарные динамические системы. Формула Коши. Случай постоянных коэффициентов. Теорема об устойчивости решений. Случай периодических коэффициентов. Матрица монодромии и построение ее спектра. Теорема об устойчивости решений. Маятник Фруда. Фрикционные автоколебания в машиностроении. Элементы

качественного исследования нелинейных динамических систем. Бифуркация Андронова – Хопфа в автоколебательных системах. Уравнение Ван дер Поля. Качественное исследование фрикционной автоколебательной системы.

Тема 3. Удар. Соударение с малыми скоростями. Задачи динамики конструкций. Неклассические модели динамики стержней, пластинок и оболочек. Уравнения С.П. Тимошенко, Рэлея-Лява, Бишопа и др. Распространение упругопластических волн. Волны одноосных деформаций. Волны в струнах и стержнях. Численное моделирование упругопластических волн. Экспериментальные методы изучения поведения материалов при высоких скоростях деформации. Стержень Гопкинсона – Кольского, метод прямого удара, цилиндр Тейлора. Явление тыльного откола при отражении импульса сжатия от поверхности тела. Проникание и пробивание твердых тел. Экспериментальные методы изучения проникания и пробивания твердых тел.

Раздел 2. Экспериментальное обеспечение колебаний и удара (ПЗ – 7, СР - 19)

Тема 4. Методы и средства измерения вибраций и удара. Передаточная функция системы с одной степенью свободы. Передаточная функция системы несколькими степенями свободы. Измерительные системы. Датчики. Системы вибрационного и баллистического нагружения. Цифровая обработка сигналов. Резонансный метод модального анализа. Ударный модальный анализ. Метод лазерной виброметрии в модальном анализе. Метод корреляции цифровых изображений в анализе динамического поведения конструкций. Пакеты прикладных программ для проектирования на основе испытаний. Многоканальный сбор данных: SCADA-системы. Системы обработки сигналов. Программное обеспечение для верификации моделей на основе виброиспытаний.

Тема 5. Вибрационная механика. Применение методов возмущений в вибрационной механике и синхронизации. Теория регуляторов. Задачи балансировки роторов.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Нелинейные колебания	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины
2	2	Параметрические колебания и автоколебания	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины
3	3	Удар	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины
4	4	Методы и средства измерения вибраций и удара	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины
5	5	Вибрационная механика	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Нелинейные колебания	Творческое задание	Темы творческих заданий
2	1. 2	Параметрические колебания и автоколебания	Творческое задание	Темы творческих заданий
3	3	Удар	Творческое задание	Темы творческих заданий
4	4	Методы и средства измерения вибраций и удара	Творческое задание	Темы творческих заданий
5	5	Вибрационная механика	Творческое задание	Темы творческих заданий

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Динамика деформируемых тел» аспирантам необходимо выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Список вопросов, изучаемых самостоятельно, задается руководителем. Им же даются ссылки на источники в периодической научной литературе;
4. К выполнению практических заданий приступать после самостоятельной работы после консультации с научным руководителем.

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине**6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы**

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	Келлер И.Э. Динамика и прочность машин. Методы возмущений: Учеб. пособие для вузов. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. 77 с.	50+ЭБ
2	Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М. Изд-во Наука. 1972г. 720с.	1
3	Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука-Физматлит, 1981. 568 с.	7
4	Блехман И.И. Вибрационная механика. М.: Наука. 1994. 394 с.	1

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
5	Зусман Г. В. Вибродиагностика : учебное пособие / Г. В. Зусман, А. В. Барков. - Москва: Спектр, 2011. 214 с.	5
6	Петрухин В. В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации / В. В. Петрухин, С. В. Петрухин. - Москва: Инфра-Инженерия, 2010. 176 с.	5+ЭБС «Лань»
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебные и научные издания		
1	Б.П. Демидович. Лекции по математической теории устойчивости. С.-Пб:Лань, 1998. 480 с.	1
2	Ланда П.С. Нелинейные колебания и волны. М.: Наука, 1997 . 495 с.	2
3	Куликовский А.Г., Свешникова Е.И., Чугайнова А.П. Математические методы изучения разрывных решений нелинейных гиперболических систем уравнений. М.: МИАН, 2010. 122 с.	7
4	Куликовский А.Г., Свешникова Е.И. Нелинейные волны в упругих средах. М.: Московский лицей, 1998. 412 с.	4
5	Нихамкин М.А. Вибрационные процессы в газотурбинных двигателях. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. 118 с.	ЭБ
2.2 Периодические издания		
1	Периодические отечественные и зарубежные издания, в первую очередь журналы «Известия РАН. Механика твердого тела», «Вестник ПНИПУ. Механика», «Прикладная механика и техническая физика», «Прикладная математика и механика» и др.	
2.3 Нормативно-технические издания		
1		
2.4 Официальные издания		
1		

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.
3. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.
4. SAGE Journals [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. мультидисциплинар. журн. на англ. яз.] / SAGE Publications. – Los Angeles, 2016. – Режим доступа: <http://online.sagepub.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.
5. Taylor & Francis Online [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. мультидисциплинар. журн. на англ. яз.] / Informa UK Ltd. – London, 2016. – Режим доступа: <http://www.tandfonline.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.
6. Российский индекс научного цитирования [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на рус. яз.] / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 2000-2016. – Режим доступа: http://elibrary.ru/project_risc.asp, свободный. – Загл. с экрана.
7. Консультант Плюс [Электронный ресурс: справочная правовая система : документы и комментарии : универсал. информ. ресурс]. – Версия Проф. сетевая.- Москва, 1992-. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, свободный.
8. Национальная электронная библиотека – <http://нэб.рф/>
9. Сайт высшей аттестационной комиссии – <http://vak.ed.gov.ru/>

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Компьютеры Core 2 Duo E6850	8	оперативное управление	106, корпус Г
2	Мультимедиа-проектор Panasonic PT-F200E	1	оперативное управление	318, корпус Г
3	Ноутбук ASUS X200MA-KX509D	1	оперативное управление	318, корпус Г

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является кандидатский экзамен, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

В процессе формирования заявленных компетенций используются различные формы оценочных средств текущего и промежуточного контроля.

Компоненты дисциплинарных компетенций, указанные в дисциплинарных картах компетенций в рабочей программе дисциплины, выступают в качестве контролируемых результатов обучения в рамках освоения учебного материала дисциплины: знать, уметь, владеть.

Текущий контроль

Текущий контроль для комплексного оценивания показателей знаний, умений и владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1) проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Критерии и показатели оценивания собеседования отображены в шкале, приведенной в табл. 2.

Таблица 5

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
Зачтено	Аспирант достаточно свободно использует фактический материал по заданному вопросу, умеет определять причинно-следственные связи событий, логично и грамотно, с использованием профессиональной терминологии обосновывает свою точку зрения.
Незачтено	Аспирант демонстрирует полное незнание материала или наличие бессистемных,

	отрывочных знаний, связанных с поставленным перед ним вопросом, при этом не ориентируется в профессиональной терминологии.
--	--

- **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Критерии оценивания защиты отчета творческого задания отображены в шкале, приведенной в табл. 3.

Таблица 6

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
<i>Зачтено</i>	Аспирант выполнил творческое задание успешно, показав в целом систематическое или сопровождающееся отдельными ошибками применение полученных знаний и умений , аспирант ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Аспирант может объяснить полностью или частично полученные результаты.
<i>Незачтено</i>	Аспирант допустил много ошибок или не выполнил творческое задание.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета (5 семестр) по дисциплине, в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки знаний и практическое задание (ПЗ) для проверки умений и владений заявленных дисциплинарных частей компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных дисциплинарных компетенций. Пример билета представлен в приложении 1.

- **Шкалы оценивания результатов обучения при зачете:**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по шкале оценивания «зачтено», «незачтено» путем выборочного контроля во время зачета.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в табл. 7 и табл. 8.

Таблица 7

Шкала оценивания уровня знаний, умений и владений на зачете

Оценка	Критерии оценивания
<i>Зачтено</i>	Аспирант продемонстрировал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно. Аспирант выполнил контрольное задание билета правильно или с небольшими неточностями. Показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.

Оценка	Критерии оценивания
<i>Незачтено</i>	При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные знания при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.
	При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.

При оценке уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций в рамках выборочного контроля при сдаче зачета, что полученная оценка проверяемой в билете дисциплинарной части компетенции обобщается на все дисциплинарные части компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных частей компетенций проводится с учетом результатов текущего контроля в виде интегральной оценки по системе оценивания «зачтено» и «незачтено».

Таблица 8

Оценочный лист уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций на зачете

Итоговая оценка уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций	Критерии оценивания компетенции
<i>Зачтено</i>	Аспирант получил по дисциплине оценку «зачтено»
<i>Незачтено</i>	Аспирант получил по дисциплине оценку «незачтено»

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы выпускающих кафедр.

Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на зачете по дисциплине:

1. Бифуркация Андронова – Хопфа в автоколебательных системах с сухим трением.

2. Сформулировать теорему Флоке-Ляпунова для системы с параметрическими колебаниями.
3. Задача о распаде разрыва применительно к ударному воздействию на деформируемое твердое тело.
4. Применение методов возмущений к вибрационной механике и процессам синхронизации.
5. Фурье-анализ сигнала динамического процесса.

Типовые контрольные задания для оценивания приобретенных умений и владений на зачете по дисциплине:

Получить с использованием теории динамики деформируемых тел математическую постановку задачи, исследуемой в научной работе аспиранта или предложенной преподавателем (*берется любая статья подходящей тематики, опубликованная в научном журнале из списка периодических изданий или перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в РПД*).

Полный комплект вопросов для сдачи зачета хранится на кафедре ДПМ.

Приложение 1
Пример типовой формы экзаменационного билета

Программа
Механика деформируемого твердого тела

Кафедра
Динамика и прочность машин

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

Дисциплина

«Динамика деформируемых тел»

БИЛЕТ № 1

Критерии разрушения композиционных материалов. Масштабный эффект прочности.

Заведующий кафедрой ДПМ

_____ (подпись)

Матвеев В.П.

« ____ » _____ 2022 г.

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		