



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и инновациям

В.Н. Коротяев
» « 2017г.

Рабочая программа дисциплины
«Механика деформируемого твердого тела»

Направление подготовки	01.06.01 Математика и механика
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Механика деформируемого твердого тела
Научная специальность	01.02.04 Механика деформируемого твердого тела
Квалификация выпускника	Исследователь. Преподаватель-исследователь
Выпускающие кафедры	Вычислительная математика и механика (ВМиМ) Математическое моделирование систем и процессов (ММСП) Динамика и прочность машин (ДПМ) Прикладная физика (ПФ)
Форма обучения	Очная
Курс: 2, 3	Семестр (ы): 4, 5
Трудоёмкость:	
Кредитов по рабочему учебному плану:	4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	144 ч
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен: 5	Зачёт: 4

Пермь 2017 г.

Рабочая программа дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 866 от 30 июля 2014 г. по направлению подготовки 01.06.01 – Математика и механика;
- Общая характеристика образовательной программы;
- Паспорт научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Минобрнауки России от 25 февраля 2009 №59 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени» (редакция от 14 декабря 2015 года);
- Программа кандидатского минимума и паспорт научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Рабочая программа дисциплины заслушана и утверждена на заседании кафедры ВМиМ

Протокол от «1» июня 2017г. № 11.

Зав. кафедрой д.техн.н., профессор



Труфанов Н.А.

Рабочая программа дисциплины заслушана и утверждена на заседании кафедры ММСП

Протокол от «12» мая 2017г. № 5.

Зав. кафедрой д.физ.-мат.н., профессор



Трусов П.В.

Рабочая программа дисциплины заслушана и утверждена на заседании кафедры ДПМ

Протокол от «29» мая 2017г. № 18.

Зав. кафедрой д.техн.н., профессор



Матвеев В.П.

Рабочая программа дисциплины заслушана и утверждена на заседании кафедры ПФ

Протокол от «24» июня 2017г. № 17.

Зав. кафедрой д. физ.-мат.н., профессор



Брацун Д.А.

Разработчик программы д.техн.н., профессор



Труфанов Н.А.

Руководитель программы д.техн.н., профессор



Труфанов Н.А.

Согласовано:
Начальник УПКВК



Л.А. Свисткова

1. Общие положения

1.1. Цель изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» является формирование умений и навыков применения подходов, методов и математических моделей механики при выполнении научно-исследовательской работы в области изучения закономерностей процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов различной природы, а также напряженно-деформированного состояния твердых тел из этих материалов, при механических, тепловых, радиационных, статических и динамических воздействиях в пассивных и активных, газовых и жидких средах и полях различной природы, необходимого при подготовке научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук.

В процессе изучения дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» аспирант формирует части следующих компетенций:

- ПК-1 (способность критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты),
- ПК-3 (способность самостоятельно развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов).

1.2. Задачи изучения механики деформируемого твердого тела

Основными задачами изучения механики деформируемого твердого тела являются:

1. Приобретение знаний о проблемах механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности. Приобретение знаний о закономерностях процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов различной природы, а также напряженно-деформированного состояния твердых тел из этих материалов, при механических, тепловых, радиационных, статических и динамических воздействиях в пассивных и активных, газовых и жидких средах и полях различной природы. Приобретение знаний о принципах построения математических моделей механических процессов, знаний структуры уравнений баланса для параметров механической природы, типов граничных и начальных условий. Приобретение знаний о принципах построения определяющих соотношений упругих и неупругих материалов, изотропных и анизотропных твердых тел, знания примеров основных определяющих соотношений классических сред. Знание вариационных принципов и основных численных методов механики деформируемого твердого тела. Приобретение знаний о новых методах и средствах экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов.
2. Формирование умений записи уравнений балансового типа для величин механической природы, записи для полученных уравнений граничных и начальных условий, записи определяющих уравнений. Формирование умений вывода уравнений для механических переменных из вариационных принципов механики деформируемого твердого тела. Формирование умений критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретиро-

вать, представлять и применять полученные результаты. Формирование умений развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов.

3. Развитие навыков математической постановки и решения задач из различных разделов механики деформируемого твердого тела, навыков использования практических приемов и методов решения задач классических разделов механики деформируемого твердого тела, включая применение численных постановок их решения. Развитие навыков применения новых методов и средств экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов.

1.3. Предмет освоения дисциплины

Предметом освоения дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» являются

- законы и математические модели деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых;
- постановки и методы решения краевых задач для тел различной конфигурации и структуры при механических, электромагнитных, радиационных, тепловых и прочих воздействиях, в том числе применительно к объектам новой техники;
- аналитические, численные и экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов.

1.4. Место механики деформируемого твердого тела в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.В.01 «Механика деформируемого твердого тела» является обязательной дисциплиной из вариативной части учебного плана подготовки аспиранта.

2. Перечень планируемых результатов обучения аспирантов дисциплине «Механика деформируемого твердого тела», соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения механики деформируемого твердого тела аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности;
- методы построения математических моделей механических процессов, знаний структуры уравнений баланса для параметров механической природы, типов граничных и начальных условий;
- вариационные принципы и основные численные методы механики деформируемого твердого тела.

Уметь:

- критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты;

- развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов.

Владеть:

- навыками применения новых методов и средств экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов.

2.1 Дисциплинарная карта компетенции ПК-1

Код ПК-1	Формулировка компетенции способность критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
-----------------	---

Код ПК-1 Б1.В.01	Формулировка дисциплинарной части компетенции способность критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
-------------------------	--

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
Знать: – проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности.	<i>Лекции, самостоятельная работа аспирантов, индивидуальные консультации научного руководителя.</i>	<i>Собеседование.</i>
Уметь: – критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.	<i>Практические занятия, самостоятельная работа аспирантов, выполнение заданий научного руководителя, подготовка отчета.</i>	<i>Собеседование, творческое задание, анализ отчета аспирантов.</i>

<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками использования практических приемов и методов решения задач классических разделов механики деформируемого твердого тела, включая применение численных постановок их решения. 	<p><i>Самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета.</i></p>	<p><i>Собеседование, творческое задание, анализ отчета аспирантов.</i></p>
---	---	--

2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

<p>Код ПК-3</p>	<p>Формулировка компетенции</p> <p>способность самостоятельно развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p>
------------------------	---

<p>Код ПК-3 Б1.В.01</p>	<p>Формулировка дисциплинарной части компетенции</p> <p>способность самостоятельно развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p>
--------------------------------	--

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов. 	<p><i>Лекции, самостоятельная работа аспирантов, индивидуальные консультации научного руководителя.</i></p>	<p><i>Собеседование.</i></p>
<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов. 	<p><i>Практические занятия, самостоятельная работа аспирантов, выполнение заданий научного руководителя, подготовка отчета.</i></p>	<p><i>Собеседование, творческое задание, анализ отчета аспирантов.</i></p>
<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками применения новых методов и средств экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов. 	<p><i>Самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета.</i></p>	<p><i>Собеседование, творческое задание, анализ отчета аспирантов.</i></p>

3. Структура учебной дисциплины «Механика деформируемого твердого тела»
 Общая трудоемкость дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» составляет 4
 ЗЕТ (1 ЗЕТ = 36 час.).

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч	
		4 семестр	5 семестр
1	Аудиторная работа	12	
	В том числе:		
	Лекции (Л)	5	-
	Практические занятия (ПЗ)	-	6
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	1	-
	Самостоятельная работа (СР)	66	30
	Итоговая аттестация по дисциплине: Кандидатский экзамен	-	36
	Форма итогового контроля:	Зачет	Кандидатский экзамен

4. Содержание учебной дисциплины
4.1. Модульный тематический план

Таблица 2

Тематический план по модулям учебной дисциплины (4, 5 семестр)

Номер раздела дисциплины	Номер темы дисциплины	Количество часов и виды занятий					Трудоёмкость, ч / ЗЕ	
		аудиторная работа			КСР	Итоговый контроль		Самостоятельная работа
		всего	Л	ПЗ				
1	1	2	2			18		
Всего по разделу:		2	2			18		
2	2	2	2			16		
	3	1	1			16		
	4					16		
Всего по разделу:		3	3			48		
Итого (4 семестр)		5	5		1	0	66	72/2
3	5			2		10		
Всего по разделу:				2		10		
4	6			2		10		
	7			2		10		
Всего по разделу:				4		20		
Промежуточная аттестация						36		
Итого (5 семестр)				6	2	36	30	72/2
Итого:		12	5	6	1	36	96	144/4

4.2. Содержание учебной дисциплины

4.2.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины (4 семестр)

Раздел 1. Теоретические основы механики сплошных сред

(Л – 2 , СР – 18)

Тема 1. Механика и термодинамика сплошных сред.

Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент. Деформация элемента сплошной среды. Два способа описания деформации сплошного тела. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Переход от Эйлера описания к Лагранжеву и обратно.

Тензор деформации Коши-Грина. Геометрический смысл компонент тензора деформации Грина. Тензор деформации Альманси. Геометрический смысл компонент тензора деформации Альманси. Условия совместности деформаций. Формулировка условий совместности деформаций в цилиндрической и сферической системе координат. Вычисление тензора малых деформаций по заданному полю перемещений. Формулы Чезаро.

Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Тензоры напряжений Коши, Пиолы и Кирхгофа.

Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии.

Термодинамические процессы и циклы. Термодинамические параметры состояния. Понятия о работе, теплоте, внутренней энергии, температуре и энтропии. Первый и второй законы термодинамики. Термодинамические потенциалы состояния. Общие формы определяющих соотношений механики сплошных сред.

Физическая размерность. Анализ размерностей и П-теорема. Автомодельные решения. Примеры.

Раздел 2. Механика упругих и неупругих деформируемых твердых тел

(Л – 3, СР – 48)

Тема 2. Теория упругости.

Упругое деформирование твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела. Тензор упругих модулей. Частные случаи анизотропии: трансверсально изотропное и ортотропное упругое тело. Упругие модули изотропного тела.

Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами—Митчелла в напряжениях. Граничные условия. Постановка краевых задач математической теории упругости. Основные краевые задачи. Принцип Сен-Венана.

Общие теоремы теории упругости: теорема Клапейрона, тождество взаимности, теорема единственности. Основные энергетические функционалы линейной теории упругости. Вариационные принципы теории упругости: принцип минимума полной потенциальной энергии, принцип минимума дополнительной энергии, принцип Рейснера. Теоремы Кастильяно. Теорема Бетти. Примеры.

Действие сосредоточенной силы в неограниченной упругой среде. Тензор Грина. Граничные интегральные представления напряжений и перемещений. Формула Соммильяны. Общие представления решений уравнений теории упругости: представление Кельвина, представление Галеркина и представление Папковича—Нейбера. Нормальная нагрузка на границе полупространства (задача Буссинеска). Касательная нагрузка на границе полупространства (задача Черрути).

Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Плоская задача теории упругости. Метод комплексных потенциалов Колосова—Мусхелишвили. Комплексное представление напряжений и перемещений. Уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах. Смешанная задача для полуплоскости. Задача Гриффитса.

Антиплоская деформация. Трещина антиплоского сдвига в упругом теле. Кручение и изгиб призматического тела (задача Сен-Венана). Теоремы о циркуляции касательного напряжения при кручении и изгибе. Центр изгиба.

Задача о действии штампа с плоским основанием на полуплоскость. Контактная задача Герца.

Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы. Полная система уравнений теории пластин и оболочек. Граничные условия. Постановка задач теории пластин и оболочек. Безмоментная теория. Краевые эффекты. Задача о круглой симметрично нагруженной пластине.

Динамические задачи теории упругости. Уравнения движения в форме Ламе. Динамические, геометрические и кинематические условия совместности на волновом фронте. Свободные волны в неограниченной изотропной упругой среде. Общее решение в форме Ламе. Фундаментальное решение динамических уравнений теории упругости для пространства. Плоские гармонические волны. Коэффициенты отражения, прохождения и трансформации. Полное отражение. Поверхностные волны Релея. Волны Лява. Установившиеся колебания упругих тел. Частоты и формы собственных колебаний. Вариационный принцип Релея.

Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости.

Тема 3. Теория пластичности.

Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций. Линии Людерса—Чернова.

Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения.

Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Функция нагружения, поверхность нагружения. Параметры упрочнения.

Законы связи между напряженным и деформированным состояниями в теории течения. Принцип Мизеса. Постулат Друккера. Ассоциированный закон пластического течения. Теория скольжения. Краевые задачи теории течения. Теоремы единственности. Вариационные принципы теории течения.

Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры.

Кручение призматического тела за пределом упругости. Предельное равновесие при кручении. Характеристики. Поверхность напряжений как поверхность постоянного ската. Песчаная аналогия. Разрывы напряжений. Песчано-мембранная аналогия Прандтля-Надаи для кручения идеально упругопластических тел.

Пластическое плоское деформированное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей. Статически определимые и неопределимые задачи. Характеристики. Свойства линий скольжения. Методы решения основных краевых задач теории плоской пластической деформации. Задача Прандтля о вдавливании штампа. Пластическое плоское напряженное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей при условии пластичности Мизеса. Характеристики.

Плоские упругопластические задачи теории идеальной пластичности. Двухосное растяжение толстой и тонкой пластин с круговым отверстием.

Деформационные теории пластичности. Теория Генки. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе из упрочняющегося материала.

Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара.

Тема 4. Теория вязкоупругости и ползучести.

Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона. Время релаксации. Время запаздывания.

Определяющие соотношения теории вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации. Непрерывные ядра и ядра со слабой особенностью. Термо-динамические ограничения на выбор ядер ползучести и релаксации.

Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерры, применение интегрального преобразования Лапласа, численные методы. Теорема единственности.

Вариационные принципы в линейной вязкоупругости. Применение вариационного метода к задачам изгиба.

Плоская задача о вдавливании жесткого штампа в вязкоупругую полуплоскость. Контакт вязкоупругих тел: аналог задачи Герца.

Определяющие соотношения нелинейной теории вязкоупругости. Разложение Вольтерры—Фреше. Упрощенные одномерные модели.

Теории старения, течения, упрочнения и наследственности. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Определяющие соотношения.

Установившаяся ползучесть. Уравнения состояния деформируемых тел, находящихся в условиях установившейся ползучести. Постановка краевых задач. Вариационные принципы теории установившейся ползучести: принцип минимума полной мощности, принцип минимума дополнительного рассеяния. Установившаяся ползучесть и длительная прочность стержня.

Неустановившаяся ползучесть. Определяющие уравнения теории неустановившейся ползучести. Вариационные принципы теории течения и теории упрочнения. Неустановившаяся ползучесть стержневой решетки. Устойчивость стержней и пластин из реономных материалов.

4.2.2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины (5 семестр)

Раздел 3. Прочность и разрушение твердых тел

(ПЗ – 2, СР – 10)

Тема 5. Механика разрушения.

Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений: растяжение упругой полуплоскости с круговым и эллиптическим отверстиями.

Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный. Критерии длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности.

Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Метод разложения по собственным функциям в задаче о построении асимптотик полей напряжений и перемещений у вершины трещины в упругом теле. Коэффициент интенсивности напряжений, методы его вычисления и оценки.

Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Энергетический подход Гриффитса в механике разрушения. Силовой подход в механике разрушения: модели Баренблатта и Ирвина. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина.

J-интеграл Эшелби—Черепанова—Райса и его инвариантность. Вычисление потока энергии в вершину трещины. JR -кривая.

Динамическое распространение трещин. Динамический коэффициент интенсивности напряжений. Предельная скорость трещины хрупкого разрушения (теоретическая оценка и экспериментальные данные).

Локализованное пластическое течение у вершины трещины. Оценка линейного размера пластической зоны у вершины трещины по Ирвину. Поле скольжения у вершины трещины нормального отрыва в идеально пластическом теле. Модель трещины Леонова—Панасюка—Дагдейла с узкой зоной локализации пластических деформаций.

Кинетическая концепция прочности твердых тел. Формула Журкова. Кинетическая теория трещин. Рост трещин в условиях ползучести.

Понятие об усталостном разрушении. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Основные законы роста усталостных трещин.

Понятие о поврежденности. Типы поврежденности. Математическое представление поврежденности. Параметр поврежденности Качанова—Работнова.

Кинетические уравнения накопления поврежденности. Принципы линейного суммирования повреждений. Накопление повреждений в условиях ползучести.

Раздел 4. Экспериментальные и численные методы механики деформируемого твердого тела

(ПЗ – 4, СР – 20)

Тема 6. Экспериментальная механика

Методы и средства экспериментальных исследований в механике твердого деформируемого тела. Метод электротензометрии (виды тензорезисторов, схемы их размещения для одноосных и двухосных НДС, мостовая схема измерения, тензорезисторные преобразователи перемещений, сил, давлений, вибраций).

Метод хрупких покрытий для исследования полей главных напряжений (канифольные, оксидные, эмалевые покрытия, область их применения). Метод координатных сеток (прямоугольные, касательные, окружные и комбинированные сетки, область их применения). Метод муаровых полос для измерения линейных и угловых перемещений на поверхности.

Метод фотоупругости. Принцип действия прямого полярископа и кругового. Изохромы (полосы) и изоклина. Методы их разделения с помощью "белого" света, синхронного вращения анализатора и поляризатора, введения 1/4 волновых пластинок. Методы разделения на разности главных напряжений (метод, использующий измерение поперечных деформаций; метод наклонного просвечивания путем поворота относительно оси одного из главных напряжений, определяемых значением угла изоклины, вариационно-разностный метод решения уравнения равновесия задачи для ПНС (способ разности касательных напряжений). Метод оптически чувствительных покрытий и соответствующие схемы полярископов.

Теория подобия и моделирования. Виды соответствий. Методы определения масштабов физического моделирования. Метод анализа известных функциональных связей (уравнений) явления. Полное и приближенное моделирование. Частные случаи моделирования ПНС, действия массовых сил, кинематического и динамического подобия.

Определение масштабов моделирования на основе теории размерностей, основанной на π -теореме. Формулировка π -теоремы. Индикаторы и критерии подобия. Основные теоремы подобия.

Математические методы планирования последовательности экспериментальных исследований. Схема эксперимента. Объект исследования (черный ящик). Параметры оптимизации. Методы построения обобщенного параметра оптимизации, Факторы. Выбор области эксперимента. Условия, которым должны удовлетворять вышеперечисленные понятия.

Математическая модель, аппроксимирующая результаты эксперимента и условия ее выбора. Основные стратегии экспериментального определения экстремума целевой функции эксперимента.

Полный факторный эксперимент (ПФЭ). Матрица ПФЭ. Методы ее построения и ее свойства. Определение коэффициентов математической модели (уравнения регрессии) при ПФЭ.

Определение погрешности при проведении эксперимента по повторным опытам на нулевом уровне и погрешности коэффициентов уравнения регрессии. Определение значимости коэффициентов по "t"-критерию.

Дробный факторный эксперимент (ДФЭ) для построения линейной модели, аппроксимирующей неизвестную поверхность параметра оптимизации. Дробные реплики. Генерирующее соотношение, определяющее с каким из эффектов взаимодействия факторов смешан дополнительный фактор. Определяющий контраст и его применение для построения оценок неизвестных истинных коэффициентов модели.

Обработка результатов ПФЭ и ДФЭ. Определение статистической значимости коэффициентов уравнения. Проверка адекватности линейной модели и участка истинной поверхности отклика по критерию Фишера и действия в случае неадекватности.

***Обработки результатов экспериментальных исследований.** Построение доверительных интервалов для оценок математического ожидания и дисперсии. Случай неизвестного вида закона распределения вероятности. Использование знаний о виде закона распределения анализируемой величины. Однофакторный анализ. Постановка задачи. Непараметрические критерии однородности. Оценивание эффектов обработки. Дисперсионный анализ. Двухфакторный анализ. Связь задач однофакторного и двухфакторного анализа. Аддитивная модель данных двухфакторного эксперимента при независимом действии факторов. Непараметрические критерии проверки гипотез об отсутствии эффектов обработки. Двухфакторный дисперсионный анализ. Линейный регрессионный анализ. Модель линейного регрессионного анализа. Стратегии, методы и проблемы регрессионного анализа. Простая линейная регрессия. Непараметрическая линейная регрессия. Нелинейное оценивание. Модели нелинейного регрессионного анализа. Используемые методы оценивания неизвестных параметров. Логистическая регрессия. Регрессия экспоненциального типа. Разрывная регрессия.*

***Анализ временных рядов и прогнозирование.** Основные задачи анализа временных рядов. Классификация временных рядов. Основные характеристики временных рядов. Стационарные временные ряды. Параметрические модели временных рядов. Детерминированная и случайная составляющие временного ряда. Тренд, сезонная и циклические составляющие. Модели тренда, его подбор и прогнозирование. Выделение сезонной компоненты. Проблемы сглаживания временных рядов. Линейные модели временных рядов : авторегрессии 1-го, 2-го, 'p'-го порядка. Процессы скользящего среднего. Комбинированные процессы авторегрессии - скользящего среднего.*

Тема 7. Численные методы решения задач механики деформируемого твердого

тела

Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости.

Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Методы Релея—Ритца, Бубнова—Галеркина и градиентного спуска в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии.

Метод конечных элементов в теории упругости. Пределы применимости метода конечных элементов.

Формула Сомильяны и метод граничных интегральных уравнений (метод граничных элементов).

Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности. Область определенности и область зависимости решения гиперболической краевой задачи.

Метод лучевых разложений для решения гиперболических задач теории пластичности и волновой динамики.

Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела.

4.3. Перечень тем лабораторных работ

При изучении данной дисциплины лабораторные работы не предусмотрены.

4.4. Перечень тем практических занятий

Таблица 2. – Темы практических занятий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия
1	2	3
1	1.	Механика разрушения.
2	2.	Экспериментальная механика.
3	3.	Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела.

4.5. Перечень тем семинарских занятий

При изучении данной дисциплины семинарские занятия не предусмотрены.

4.6. Содержание самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в чтении рекомендуемой литературы и в применении усвоенного аппарата при работе над диссертацией.

Тема 1. — 18 часов самостоятельной работы.

Тема 2. — 16 часа самостоятельной работы.

Тема 3. — 16 часов самостоятельной работы.

Тема 4. — 16 часов самостоятельной работы.

Тема 5. — 10 часов самостоятельной работы.

Тема 6. — 10 часов самостоятельной работы.

Тема 7. — 10 часов самостоятельной работы.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Термодинамические процессы и циклы. Термодинамические параметры состояния. Понятия о работе, теплоте, внутренней энергии, температуре и энтропии. Первый и второй законы термодинамики.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы. Полная система уравнений теории пластин и оболочек. Граничные условия. Постановка задач теории пластин и оболочек. Безмоментная теория. Краевые эффекты. Задача о круглой симметрично нагруженной пластине.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
3	3	Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
4	4	Вариационные принципы в линейной вязкоупругости. Применение вариационного метода к задачам изгиба.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
5	5	Длительная прочность вязкоупругих тел. Кинетические уравнения накопления повреждений. Принцип линейного суммирования повреждений. Накопление повреждений в условиях ползучести.	Творческое задание	Темы творческих заданий

6	6	Анализ временных рядов и прогнозирование.	Творческое задание	Темы творческих заданий
7	7	Метод граничных элементов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» 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. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Для успешного освоения дисциплины применяются образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов обучения согласно основной профессиональной образовательной программы. Руководитель заранее формирует список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом. Практические занятия основываются на интерактивном методе обучения, при котором аспиранты взаимодействуют не только с руководителем, но и друг с другом. При этом доминирует активность аспирантов в процессе обучения. Место руководителя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности аспирантов на достижение целей занятия.

7. Фонд оценочных средств

Оценочные средства приведены в приложении к рабочей программе дисциплины.

8. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

8.1. Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

<p align="center">Б1.В.01 «Механика деформируемого твердого тела»</p>	<p align="center">БЛОК 1</p>									
<p align="center"><i>(индекс и полное название дисциплины)</i></p>	<p align="center"><i>(цикл дисциплины/блок)</i></p>									
<p align="center">01.06.01 / 01.02.04</p>	<table border="1"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>базовая часть цикла</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>вариативная часть цикла</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	базовая часть цикла	<input checked="" type="checkbox"/>	вариативная часть цикла	<table border="1"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>обязательная</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>по выбору аспиранта</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/>	обязательная	<input type="checkbox"/>	по выбору аспиранта
<input type="checkbox"/>	базовая часть цикла									
<input checked="" type="checkbox"/>	вариативная часть цикла									
<input checked="" type="checkbox"/>	обязательная									
<input type="checkbox"/>	по выбору аспиранта									
<p align="center"><i>код направления / шифр научной специальности</i></p>	<p align="center">Математика и механика / Механика деформируемого твердого тела</p>									
<p align="center">2017</p>	<p align="center"><i>(полные наименования направления подготовки / направленности программы)</i></p>									
<p align="center"><i>(год утверждения учебного плана)</i></p>	<p align="center">Семестр: 4,5 .</p>	<p align="center">Количество аспирантов: 3</p>								

Факультет прикладной математики и механики

Кафедра ВМиМ

тел. 8(342)239-15-64
(контактная информация)

8.2. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

№	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	Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела : учебное пособие / Ю. Н. Работнов. - Москва: Наука, Физматлит, 1988. – 712 с.	28
2	Основы механики сплошных сред / А. В. Бабкин, В. В. Селиванов. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - (Прикладная механика сплошных сред : учебник для вузов : в 3 т.; Т. 1). – 374 с.	3
3	Механика разрушения деформируемого тела / В.В. Селиванов. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - (Прикладная механика сплошных сред : учебник для вузов : в 3 т.; Т. 2). – 419 с.	7
4	Новацкий В. Теория упругости : пер. с польск. / В. Новацкий. - Москва: Мир, 1975. – 872 с.	4
5	Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести : учебное пособие для вузов / Н. Н. Малинин. - Москва: Машиностроение, 1975. – 400 с.	42
6	Качанов Л. М. Основы теории пластичности : учебное пособие для университетов / Л. М. Качанов. - Москва: Наука, 1969. – 420 с.	24
7	Методы прикладной вязкоупругости / А. А. Адамов [и др.]. - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 411 с.	50
8	Колтунов М. А. Прикладная механика деформируемого твердого тела : учебное пособие для вузов / М. А. Колтунов, А. С. Кравчук, В. П. Майборода. - Москва: Высш. шк., 1983. – 349 с.	8
9	Бреббия К. Применение метода граничных элементов в технике : пер. с англ. / К. Бреббия, С. Уокер. - Москва: Мир, 1982. – 248 с.	8
10	Кузьмин М.А. Решение задач механики методом конечных элементов : учебное пособие для вузов / М.А. Кузьмин, Д.Л. Лебедев, Б.Г. Попов. - М.: Академкнига, 2008.–160 с.	10
11	Трушин С. И. Метод конечных элементов. Теория и задачи : учебное пособие / С. И. Трушин. - Москва: Изд-во АСВ, 2008. –256 с.	4
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебные и научные издания		
1	Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред / С.М. Айзикович [и др.]. - М.: Физматлит, 2006. – 236 с.	3
2	Джонсон К. Механика контактного взаимодействия : пер. с англ. / К. Джонсон. - М.: Мир, 1989. – 510 с.	3
3	Горшков А.Г. Теория упругости и пластичности : учебник для вузов / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, Д.В. Тарлаковский. - М.: Физматлит, 2002. – 415 с.	55
4	Победря Б. Е. Основы механики сплошной среды : курс лекций : учебное пособие для вузов / Б. Е. Победря, Д. В. Георгиевский. - Москва: Физматлит, 2006. 272 с.	40
5	Ильюшин А. А. Основы математической теории термовязкоупругости / А. А. Ильюшин, Б. Е. Победря. - М.: Наука, 1970. – 280 с.	1
6	Шенк Х. Теория инженерного эксперимента : пер. с англ. / Х. Шенк. - М.: Мир, 1972. – 386 с.	6

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
7	Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. - Москва: Наука, 1976. - 280 с.	81+ЭБ
8	Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. - Москва: Наука, Физматлит, 1987. - 440 с.	2
9	Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний : справочник / М. Н. Степнов, А. В. Шаврин. - Москва: Машиностроение, 2005. - 400 с.	7
10	Герасимович А. И. Математическая статистика : учебное пособие для вузов / А. И. Герасимович. - Минск: Вышэйш. шк., 1983. - 198 с.	8
11	Малые деформации. - М.: Наука, Физматлит, 1984. - (Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел : пер. с англ.; Ч. 1). - 600 с.	4
12	Бердичевский В.Л. Вариационные принципы механики сплошной среды. — М.: Наука, 1983. — 447 с.	4
13	Партон В.З. Механика упругопластического разрушения : учебное пособие для вузов / В.З. Партон, Е.М. Морозов. - М.: Наука, Физматлит, 1985. - 504 с.	10
14	Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости : пер. с англ. / Р. Кристенсен. - Москва: Мир, 1974. - 340 с.	10
15	Тимошенко С.П. Теория упругости : пер. с англ. / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. - Москва: Наука, Физматлит, 1979. - 560 с.	11
16	Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. - Москва: Наука, Физматлит, 1974. - 640 с.	3
17	Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности : пер. с англ. / К. Васидзу. - М.: Мир, 1987. - 542 с.	6
18	Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки : пер. с англ. / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. - Москва: Наука, Физматлит, 1966. - 636 с.	29
19	Пригоровский Н. И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений : справочник / Н. И. Пригоровский. - Москва: Машиностроение, 1983. - 248 с.	8
20	Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений : справочное пособие / Б.С. Касаткин [и др.]. - Киев: Наук. думка, 1981. - 583 с.	26
2.2 Периодические издания		
1.	<i>Математическое моделирование : журнал. - Москва: Наука, с 1989 г. http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUser145033</i>	
2.	<i>Известия Российской академии наук. Механика твердого тела : научный журнал. - Москва: Наука, с 1966 г. http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUser145433</i>	
3.	<i>Вычислительная механика сплошных сред : журнал / Российская академия наук, Уральское отделение; Институт механики сплошных сред. - Пермь: ИМСС УрО РАН, с 2008 г. http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUser96485</i>	

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
4.	<i>Вестник ПНИПУ. Механика : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, с 2012 г. http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/</i>	
5.	<i>Прикладная механика и техническая физика : журнал. - Новосибирск: СО РАН, с 1960 г. http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUser145580</i>	
6.	<i>Физическая мезомеханика : журнал / Российская академия наук. Сибирское отделение; Институт физики прочности и материаловедения. - Томск: Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, 1998 - . http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUser70600</i>	
7.	<i>Физика твердого тела : журнал / Российская академия наук. Отделение физических наук; Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе. - Санкт-Петербург: Наука, 1959 - . http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUser52642</i>	
8.	<i>Журналы издательств Elsevier, Springer и др., доступные в e-library http://elibrary.ru</i>	Научная электронная библиотека (НЭБ)
9.		

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», требующихся при освоении дисциплины

8.3.1 Лицензионные ресурсы¹

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 гуманитар., 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. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных : дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. 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.

5. Cambridge Journals [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge : Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.

6. EBSCO Databases [Электронный ресурс] : [полнотекстовые базы данных журн. и кн. по гуманитар., обществ., естеств. и техн. наукам на ин. яз.] / EBSCO Publishing. – Ipswich, 2016. – Режим доступа: <http://search.ebscohost.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

7. SAGE Journals [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. мультимедийная 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.

8. Science [Электронный ресурс] : [электрон. версия ежегод. междисциплинар. науч. журн. на англ. яз.] / The American Association for the Advancement of Science (AAAS). – Washington, 2016. – Режим доступа: <http://www.sciencemag.org/magazine>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

9. Taylor & Francis Online [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. мультимедийная 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.

10. Российский индекс научного цитирования [Электронный ресурс] : [мультимедийная реф.-библиограф. и наукометр. база данных на рус. яз.] / Науч.

¹ собственные или предоставляемые ПНИПУ по договору

электрон. б-ка. – Москва, 2000-2016. – Режим доступа: http://elibrary.ru/project_risc.asp. свободный. – Загл. с экрана.

8.3.1.1 Информационные справочные системы

1. *Справочная Правовая Система КонсультантПлюс [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : док., коммент., кн., ст., обзоры и др.]. – Версия 4015.00.02, сетевая, 50 станций. – Москва, 1992–2016. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.*

8.3.2. Открытые интернет-ресурсы

1. Национальная электронная библиотека – <http://нэб.рф/>
2. Форум для обсуждения проблем проектирования, конструирования в области строительства, архитектуры, машиностроения, смежных отраслей – <http://forum.dwg.ru/>

Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п.п.	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Пер. номер лицензии	Назначение программного продукта
1	Практическое	MATLAB 7,9 Classroom	568405	Проведение расчетов
2	Практическое	Statistica for Win v.6 Russian Edu Сетевая	лиц.дог	Проведение расчетов
3	Практическое	Office Professional 2007	42661567	Оформление результатов

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

9.1. Специальные помещения и помещения для самостоятельной работы

Таблица 7

№ п.п.	Помещения			Площадь, м ²	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1	Компьютерный класс	Кафедра ВМиМ	106 к.Г,	34	8
2	Лекционная аудитория	Кафедра ВМиМ	318 к.Г	72	50

9.2. Основное учебное оборудование

Таблица 8

№ 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

Лист регистрации изменений

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

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» (ПНИПУ)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и инновациям

В.Н. Коротаев
« 7 » « 06 » 2017г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

**для проведения промежуточной аттестации аспирантов по дисциплине
«Механика деформируемого твердого тела»**

Направление подготовки	01.06.01 Математика и механика
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Механика деформируемого твердого тела
Научная специальность	01.02.04 Механика деформируемого твердого тела
Квалификация выпускника	Исследователь. Преподаватель-исследователь
Выпускающие кафедры	Вычислительная математика и механика (ВМиМ) Математическое моделирование систем и процессов (ММСП) Динамика и прочность машин (ДПМ) Прикладная физика (ПФ)
Форма обучения	Очная
Курс: 2, 3	Семестр (ы): 4, 5
Трудоёмкость:	
Кредитов по рабочему учебному плану:	4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	144 ч
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен: 5	Зачёт: 4

Пермь 2017 г.

Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» разработан на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 866 от 30 июля 2014 г. по направлению подготовки 01.06.01 – Математика и механика;
- Общая характеристика программы аспирантуры;
- Паспорт научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Минобрнауки России от 25 февраля 2009 №59 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени» (редакция от 14 декабря 2015 года);
- Программа кандидатского минимума по научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

ФОС заслушан и утвержден на заседании кафедры ВМиМ

Протокол от «1» июня 2017г. № 11.

Зав. кафедрой д.техн.н., профессор
(учёная степень, звание)


(подпись)

Труфанов Н.А.
(Фамилия И.О.)

ФОС заслушан и утвержден на заседании кафедры ММСП

Протокол от «12» мая 2017г. № 13.

Зав. кафедрой д.физ.-мат.н., профессор
(учёная степень, звание)


(подпись)

Трусов П.В.
(Фамилия И.О.)

ФОС заслушан и утвержден на заседании кафедры ДПМ

Протокол от «29» мая 2017г. № 18.

Зав. кафедрой д.техн.н., профессор
(учёная степень, звание)

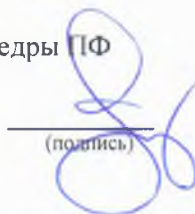

(подпись)

Матвеевко В.П.
(Фамилия И.О.)

ФОС заслушан и утвержден на заседании кафедры ПФ

Протокол от «24» мая 2017г. № 17.

Зав. кафедрой д. физ.-мат.н., профессор
(учёная степень, звание)


(подпись)

Браун Д.А.
(Фамилия И.О.)


Руководитель д.техн.н., профессор
программы


(подпись)

Труфанов Н.А.

Согласовано:

Начальник управления
подготовки кадров
высшей квалификации


(подпись)

Л.А. Свисткова

1. Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения

1.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Согласно основной профессиональной образовательной программе аспирантуры целью учебной дисциплины Б1.В.01 «Механика деформируемого твердого тела» является формирование умений и навыков применения подходов, методов и математических моделей механики при выполнении научно-исследовательской работы в области изучения закономерностей процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов различной природы, а также напряженно-деформированного состояния твердых тел из этих материалов, при механических, тепловых, радиационных, статических и динамических воздействиях в пассивных и активных, газовых и жидких средах и полях различной природы, необходимого при подготовке научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук.

В процессе изучения дисциплины «Нелинейная механика сплошных сред» аспирант формирует части следующих компетенций:

- ПК-1 (способность критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты),
- ПК-3 (способность самостоятельно развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов).

1.2 Этапы формирования компетенций

Учебный материал дисциплины осваивается за два семестра (4 и 5), в которых предусмотрены аудиторные лекционные и практические занятия и самостоятельная работа аспирантов. При изучении дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в дисциплинарных картах соответствующих компетенций в РПД. Уровень освоения дисциплины проверяется по результатам приобретения указанных компонент компетенций (табл. 1).

Таблица 1

Перечень контролируемых результатов обучения дисциплине
(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Вид контроля			
	4 семестр		5 семестр	
	Текущий	Зачёт	Текущий	Кандидатский экзамен
Усвоенные знания				
3.1 знать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности	С	ТВ	С	ТВ
3.2 знать методы построения математических моделей механических процессов, знаний структуры уравнений баланса для параметров	С	ТВ	С	ТВ

механической природы, типов граничных и начальных условий				
3.3 знать вариационные принципы и основные численные методы механики деформируемого твердого тела	С	ТВ	С	ТВ
Освоенные умения				
У.1 уметь критически анализировать проблемы механики деформируемого твердого тела с учетом современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, потребностей промышленности, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	ОТЗ	ПЗ	ОТЗ	ПЗ
У.2 уметь развивать и применять новые методы и средства экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	ОТЗ	ПЗ	ОТЗ	ПЗ
Приобретенные владения				
В.1 владеть навыками применения новых методов и средств экспериментальных исследований деформирования, повреждения и разрушения современных материалов и механических характеристик конструкций, обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	ОТЗ	ПЗ	ОТЗ	ПЗ

С – собеседование по теме; ТВ – теоретический вопрос; ТЗ – творческое задание с учетом темы научно-исследовательской деятельности; ОТЗ – отчет по творческому заданию; ПЗ – практическое задание с учетом темы научно-исследовательской деятельности; ОПЗ – отчет по практическому заданию.

Собеседование – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с аспирантом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Творческое задание – частично регламентированное задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных частей компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде зачета (4 семестр) и кандидатского экзамена (5 семестр), проводимые с учетом результатов текущего контроля.

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, 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.

2.1 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 2

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 3

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
Зачтено	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.
Незачтено	Аспирант допустил много ошибок или не выполнил творческое задание.

2.2 Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета (4 семестр) и кандидатского экзамена (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 заявленными дисциплинарными частями компетенций.

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

- **Шкалы оценивания результатов обучения при зачете и кандидатском экзамене:**

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 и 5-балльной системе оценивания путем выборочного контроля во время кандидатского экзамена.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета и кандидатского экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в табл. 4 и табл. 5.

Таблица 4

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.
<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 усвоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.

Таблица 5

Шкала оценивания уровня знаний, умений и владений на кандидатском экзамене

Оценка	Критерии оценивания
5	Аспирант продемонстрировал сформированные и систематические знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов. Аспирант правильно выполнил контрольное задание билета. Показал успешное и

Оценка	Критерии оценивания
	систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.
4	Аспирант продемонстрировал сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал недостаточно уверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. Аспирант выполнил контрольное задание билета с небольшими неточностями. Показал в целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.
3	Аспирант продемонстрировал неполные знания при ответе на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал неуверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей. Аспирант выполнил контрольное задание билета с существенными неточностями. Показал в целом успешное, но не систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.
2	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 и кандидатского экзамена считается, 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 6

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»

Оценочный лист уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций
на кандидатском экзамене

Итоговая оценка уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций	Критерии оценивания компетенции
5	Аспирант получил по дисциплине оценку «отлично»
4	Аспирант получил по дисциплине оценку «хорошо»
3	Аспирант получил по дисциплине оценку «удовлетворительно»
2	Аспирант получил по дисциплине оценку «неудовлетворительно»

3. 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 научной деятельности.

Задания для оценивания когнитивных умений (знаний) должны предусматривать необходимость проведения аспирантом интеллектуальных действий:

- по дифференциации информации на взаимозависимые части, выявлению взаимосвязей между ними и т.п.;
- по интерпретации и творческому усвоению информации из разных источников, ее системного структурирования;
- по комплексному использованию интеллектуальных инструментов учебной дисциплины для решения учебных и практических проблем.

При составлении заданий необходимо иметь в виду, что они должны носить практико-ориентированный комплексный характер и формировать закрепление осваиваемых компетенций.

4. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

4.1 Типовые творческие задания:

1. Сформулировать возможные типы граничных условий на поверхности контакта упругих тел. (Варианты: упруго-пластических тел, с учетом и без учета трения).
2. Обосновать выбор варианта нелинейной теории вязкоупругости для описания семейства экспериментально полученных кривых ползучести. (Берутся конкретные экспериментальные данные из статьи или монографии, опубликованные в рекомендованном руководителем научном издании).
3. Выполнить анализ задач и проблем механики деформируемого твердого тела в связи с описанием механических явлений, реализующихся в конкретном технологическом процессе: постановки задач, методы решения. (Берется конкретный технологический процесс по рекомендации научного руководителя: например, аддитивные технологии

металлов и полимеров, технологии изготовления композиционных материалов и конструкций и т.п.).

4.2 Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на зачете по дисциплине:

1. Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии.
2. Построение определяющих соотношений изотропных вязкоупругих материалов. Теория Больцмана-Вольтерры.
3. Методы экспериментального исследования напряжений в оптически активных средах.

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

1. Получить приближенное решение задачи неустановившейся ползучести стержневой решетки в рамках технической теории течения.
2. Записать слабую формулировку плоской задачи теории упругости на основе метода Галеркина.
3. Построить общую схему формирования глобальных матриц жесткости и вектора внешних узловых сил метода конечных элементов.
4. Обосновать возможность оценки долговечности с учетом залечивания повреждений на основе теории длительной прочности А.А.Ильюшина.

4.4 Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на кандидатском экзамене по дисциплине:

Перечень контрольных вопросов для сдачи кандидатского экзамена по специальности 01.02.04 "Механика деформируемого твердого тела" разработан на основе утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации Программы экзамена кандидатского минимума с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

1. Получить законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса.
2. Получить уравнения движения динамической задачи теории упругости в форме Ламе. Сформулировать динамические, геометрические и кинематические условия совместности на волновом фронте. Свободные волны в неограниченной изотропной упругой среде. Общее решение в форме Ламе.
3. Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерры, применение интегрального преобразования Лапласа, численные методы.
4. Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный.

4.5 Типовые контрольные задания для оценивания приобретенных умений и владений на кандидатском экзамене по дисциплине:

1. Сформулировать схему построения дискретного аналога плоской задачи теории упругости на основе непрямого метода граничных элементов.
2. Сравнить время до разрушения вязкоупругого стержня по критериям Бейли и Ильюшина при заданном режиме изменения напряжения во времени (задается научным руководителем).
3. Вывести слабую формулировку плоской задачи теории упругости на основе метода Галеркина.
4. Получить конечно-разностный аналог задачи о кручении упругого стержня квадратного сечения. Оценить порядок аппроксимации построенной разностной схемы.

Полный комплект вопросов и заданий для сдачи зачета и кандидатского экзамена в форме утвержденных билетов хранится на кафедре ВМиМ.

Приложение 1
Пример типовой формы экзаменационного билета



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНПУ)

Направление
01.06.01 Математика и механика

Программа
Механика деформируемого твердого тела

Кафедра
Вычислительная математика и механика

Дисциплина
«Механика деформируемого твердого тела»

БИЛЕТ № 1

1. Тензор деформации Коши-Грина. Геометрический смысл компонент тензора деформации Грина. Тензор деформации Альманси. Геометрический смысл компонент тензора деформации Альманси. Условия совместности деформаций. Формулы Чезаро. (*контроль знаний*)
2. Вывод слабой формулировки плоской задачи теории упругости на основе метода Галеркина. (*контроль умений*)
3. Получить конечно-разностный аналог задачи о кручении упругого стержня квадратного сечения. Оценить порядок аппроксимации построенной разностной схемы. (*контроль умений и владений*)