

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

Авторы-составители: **Терпугов Виктор Николаевич  
Медведева Наталья Александровна**

Рабочая программа дисциплины

**МЕХАНИКА ДЕФОРМИРОВАННОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА (ANSYS/COMSOL)**

Код УМК 99339

Утверждено  
Протокол №7  
от «15» июня 2023 г.

Пермь, 2023

## **1. Наименование дисциплины**

Механика деформированного твердого тела (Ansys/Comsol)

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в базовую часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление подготовки: **04.04.01** Химия

направленность Химия, физика и механика материалов

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Механика деформированного твердого тела (Ansys/Comsol)** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**04.04.01** Химия (направленность : Химия, физика и механика материалов)

**ПК.3** Способен проводить экспериментальные работы и обрабатывать полученные данные в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках с использованием различных методов и подходов

#### **Индикаторы**

**ПК.3.1** Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов

**ПК.3.2** Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направление подготовки</b>	04.04.01 Химия (направленность: Химия, физика и механика материалов)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	5
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	36
<b>Проведение лекционных занятий</b>	12
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	24
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	72
<b>Формы текущего контроля</b>	Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (5 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Механика деформированного твердого тела (Ansys/Comsol)**

Теоретические основы механики сплошных сред. Механика упругих и неупругих деформируемых твердых тел. Прочность и разрушение твердых тел. Экспериментальные и численные методы механики деформируемых тел. Использование пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твердого тела. Использование пакета COMSOL для решения задач механики деформируемого твердого тела.

#### **1. Теоретические основы механики сплошных сред**

Механика и термодинамика сплошных сред. Понятие сплошного тела. Физически и геометрически малый элемент. Способы описания деформации сплошного тела. Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Законы сохранения механики сплошных сред. Термодинамические процессы и циклы. Термодинамические параметры состояния. Понятие о работе, теплоте, внутренней энергии, температуре и энтропии. Первый и второй законы термодинамики. Термодинамические потенциалы состояния. Общие формы определяющих соотношений механики сплошных сред.

#### **2. Механика упругих и неупругих деформируемых твердых тел**

Теория упругости. Упругое деформирование твердых тел. Общие теоремы теории упругости. Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости. Теория пластичности. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций. Теория вязкоупругости и ползучести. Понятие о ползучести и релаксации. Теория старения, течения, упрочнения и наследственности. Ползучесть при сложном напряженном состоянии.

#### **3. Прочность и разрушение твердых тел**

Механика разрушения. Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений. Критерии разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный. Критерии длительной и усталостной прочности. Коэффициент запаса прочности. Кинетические уравнения накопления поврежденности.

#### **4. Экспериментальные и численные методы механики деформируемых тел**

Экспериментальная механика. Методы и средства экспериментальных исследований в механике твердого деформируемого тела. Теория подобия и моделирования. Математические методы планирования последовательности экспериментальных исследований. Обработка результатов экспериментальных исследований. Анализ результатов и прогнозирование.

#### **5. Использование пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твердого тела**

Введение в ANSYS. Основное назначение. Как организована программа ANSYS. Командный режим. Анализ задачи в ANSYS: построение модели и решение задачи. Построение модели: определение единиц измерения, определение типа элемента, определение опций элемента, определение констант элемента, определение свойств материала, создание конечно-элементной модели, приложение нагрузок. Решение задачи: определение типа анализа, спецификация решения, непосредственное решение задачи. Ошибки в работе. Обзор результатов решения задачи. Общая структура командного файла ANSYS. Геометрическое моделирование ANSYS. Решение задач механики в ANSYS.

#### **6. Использование пакета COMSOL для решения задач механики деформируемого твердого тела**

Интерфейс Comsol. Инструменты предварительной и вспомогательной обработки модели. Описание

расчетной области модели. Описание физических свойств модели. Дискретизация модели. Техника построения сетки. Применение модулей Comsol для решения материаловедческих задач. Классификация типов исследования и их описание. Осуществление постобработки результатов (узел Results). Построение трехмерных и двухмерных графиков. Экспорт данных и графиков.

#### **7. Итоговое контрольное мероприятие**

Итоговое мероприятие по рассмотренным темам в ходе изучения дисциплины (см. описание в разделе "Промежуточная аттестация").

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Механика твердого тела. Лабораторный практикум : учебное пособие для вузов / А. А. Плясов [и др.] ; под редакцией А. А. Плясова. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 171 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08877-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт].  
<https://www.urait.ru/bcode/449194>

### Дополнительная:

1. Погорелов, В. И. Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев : учебное пособие для вузов / В. И. Погорелов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 191 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-07627-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт].  
<https://www.urait.ru/bcode/437881>

2. Механика : учебно-методическое пособие с контрольными заданиями для студентов дневной формы обучения / составители В. А. Козлов, М. Г. Ордян. — Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 52 с. — ISBN 978-5-89040-591-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт].  
<http://www.iprbookshop.ru/59117.html>



## 9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<https://mtt.ipmnet.ru/ru/> Журнал "Известия Российской академии наук. Механика твердого тела"

[https://cdn.comsol.com/doc/5.4/IntroductionToCOMSOLMultiphysics.ru\\_RU.pdf](https://cdn.comsol.com/doc/5.4/IntroductionToCOMSOLMultiphysics.ru_RU.pdf) ВВЕДЕНИЕ в COMSOL Multiphysics

<https://www.comsol.ru/videos> Видеогалерея COMSOL

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Механика деформированного твердого тела (Ansys/Comsol)** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);

доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);

доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

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

1. Лекционные занятия – аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, маркерной доской.

2. Лабораторные занятия – Лаборатория термомеханических методов испытаний, Лаборатория структурно-механических исследований материалов на микро- и наноуровне, Лаборатория вычислительного материаловедения в области фотоники и квантовых технологий, оснащенные специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лабораторий.

3. Для групповых (индивидуальных) консультаций – аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

4. Для проведения текущего контроля – аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

5. Самостоятельная работа – Лаборатория термомеханических методов испытаний, Лаборатория структурно-механических исследований материалов на микро- и наноуровне, Лаборатория вычислительного материаловедения в области фотоники и квантовых технологий, оснащенные специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лабораторий. Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Механика деформированного твердого тела (Ansys/Comsol)**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.3**

**Способен проводить экспериментальные работы и обрабатывать полученные данные в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках с использованием различных методов и подходов**

<b>Индикатор</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ПК.3.1</b> Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>Знает основные положения механики деформированного твердого тела. Знает основные методы и способы исследования материалов, подверженных деформации. Владеет навыком использования современных компьютерных программ для осуществления исследований в области механики материалов.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основные положения механики деформированного твердого тела. Не знает основные методы и способы исследования материалов, подверженных деформации. Не владеет навыком использования современных компьютерных программ для осуществления исследований в области механики материалов.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания основных положений механики деформированного твердого тела. Демонстрирует частично сформированные знания основных методов и способов исследования материалов, подверженных деформации. Демонстрирует фрагментарное применение навыка использования современных компьютерных программ для осуществления исследований в области механики материалов.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы в знании основных положений механики деформированного твердого тела. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы в знании основных методов и способов исследования материалов, подверженных деформации. Демонстрирует применение навыка использования современных компьютерных программ для осуществления исследований в области механики материалов.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированы знания основных положений</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>механики деформированного твердого тела. Знает основные методы и способы исследования материалов, подверженных деформации. Демонстрирует применение навыка использования современных компьютерных программ для осуществления исследований в области механики материалов.</p>
<p><b>ПК.3.2</b> Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p>	<p>Знает основные методы построения математических моделей сложных систем, их элементов и происходящих в них процессов. Умеет использовать методы физического и математического моделирования деформированных материалов. Умеет оценивать достоверность полученных данных и знает пути ее повышения. Способен для решения задач применять возможности программно-аппаратного комплекса, в частности ANSYS и COMSOL.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основные методы построения математических моделей сложных систем, их элементов и происходящих в них процессов. Не сформировано умение использовать методы физического и математического моделирования деформированных материалов. Не умеет оценивать достоверность полученных данных и знает пути ее повышения. Не способен для решения задач применять возможности программно-аппаратного комплекса, в частности ANSYS и COMSOL.</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания об основных методах построения математических моделей сложных систем, их элементов и происходящих в них процессов. Частично сформировано умение использовать методы физического и математического моделирования деформированных материалов. С трудом оценивает достоверность полученных данных и знает пути ее повышения. Демонстрирует фрагментарное применение навыков применять возможности программно-аппаратного комплекса, в частности ANSYS и COMSOL для решения задач.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов построения математических моделей сложных систем, их элементов и происходящих в них процессов. Умеет использовать методы физического и</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>математического моделирования деформированных материалов. Умеет оценивать достоверность полученных данных и знает пути ее повышения. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы в ходе применения возможности программно-аппаратного комплекса, в частности ANSYS и COMSOL для решения задач.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированы знания об основных методах построения математических моделей сложных систем, их элементов и происходящих в них процессов. Сформировано умение использовать методы физического и математического моделирования деформированных материалов. Умеет оценивать достоверность полученных данных и знает пути ее повышения. Способен для решения задач применять возможности программно-аппаратного комплекса, в частности ANSYS и COMSOL.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ПК.3.2</b> Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации	5. Использование пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твердого тела <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Знает основное назначение ANSYS. Знает как организована программа ANSYS, командный режим. Умеет осуществлять построение модели и решение задачи. Способен решить материаловедческую задачу по предложенному алгоритму и провести обзор результатов решения задачи. Знает основы геометрического моделирования ANSYS.
<b>ПК.3.2</b> Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации	6. Использование пакета COMSOL для решения задач механики деформируемого твердого тела <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Знает основные элементы интерфейса Comsol. Знает основные инструменты предварительной и вспомогательной обработки математической модели. Умеет осуществлять описание расчетной области модели и описание физических свойств модели. Способен определить требуемый модуль Comsol и применить его для решения материаловедческих задач.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.3.2</b> Обрабатывает полученные данные с использованием современных методов анализа информации</p> <p><b>ПК.3.1</b> Проводит экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в выбранной области химии с использованием различных методов и подходов</p>	<p>7. Итоговое контрольное мероприятие</p> <p><b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знает основные положения механики деформированного твердого тела. Знает основные темы и разделы дисциплины. Знает основные методы механики деформируемого тела и способен интерпретировать экспериментальные результаты, полученные одним из методов. Умеет использовать методы физического и математического моделирования при решении материаловедческих задач. Владеет навыком работы в программных пакета ANSYS и COMSOL.</p>

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### 5. Использование пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твердого тела

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Решение задачи в ANSYS: Определение типа анализа - 3 балла 3 балла Решение задачи - 3 балла Формирование файла данных ANSYS - 2 балла Обзор результатов решения задачи и анализ ошибок - 3 балла Общая структура командного файла ANSYS - 3 балла Итого - 17 баллов</p>	17
<p>Построение модели в ANSYS: Присвоение имени файлу базы данных - 1 балла Определение единиц измерения - 2 балла Определение типа элемента - 2 балла Определение констант элемента - 2 балла Определение свойств материала - 2 балла Создание конечно-элементной модели - 2 балла Приложение нагрузок - 2 балла Итого - 13 баллов.</p>	13

#### 6. Использование пакета COMSOL для решения задач механики деформируемого твердого тела

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Знание основных инструментов пользователя, присутствующих в интерфейсе программы</p>	7

Comsol.	
Задания, на применение инструментов предварительной и вспомогательной обработки модели. Использование узлов Definitions и Global Parameters.	7
Осуществление постобработки результатов (узел Results). Построение трехмерных и двухмерных графиков. Экспорт данных и графиков.	6
Классификация типов исследования и их описание.	5
Описание расчетной области модели с использованием узла Geometry.	5

## 7. Итоговое контрольное мероприятие

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Расчетная задача с применением специальных средств: программный пакет ANSYS или COMSOL. Построение модели - 7 баллов. Решение задачи - 7 баллов. Сопоставление с экспериментальными результатами (или справочной информацией), выводы по результатам расчетной задачи - 6 баллов. Итого - 20 баллов.	20
Тестовые задания на знание основных положений механики деформируемого твердого тела и умение их сопоставлять с экспериментальными и расчетно-теоретическими результатами. Всего 10 вопросов. Каждый вопрос - 2 балла. Итого - 20 баллов.	20