

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"

Кафедра вычислительной и экспериментальной механики

Авторы-составители: Пестренин Валерий Михайлович

Рабочая программа дисциплины
МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД
Код УМК 95555

Утверждено
Протокол №6
от «16» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Механика сплошных сред

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Направление: **01.03.03** Механика и математическое моделирование
направленность Программа широкого профиля

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Механика сплошных сред** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.03.03 Механика и математическое моделирование (направленность : Программа широкого профиля)

ПК.1 Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований

Индикаторы

ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований

ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований

УК.1 Способен осуществлять поиск, анализ и синтез информации, применять системный подход для разрешения проблемных ситуаций

Индикаторы

УК.1.1 Осуществляет поиск информации, производит критическую оценку надежности ее источников

УК.2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать способы их решения, исходя из имеющихся ресурсов и ограничений

Индикаторы

УК.2.1 Формулирует задачи, исходя из поставленной цели

УК.4 Способен осуществлять деловую коммуникацию на русском и иностранном языках в устной и письменной формах

Индикаторы

УК.4.3 Представляет результаты деятельности на публичных мероприятиях в устной и письменной формах

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	01.03.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Программа широкого профиля)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	7,8,9,10,11
Объем дисциплины (з.е.)	12
Объем дисциплины (ак.час.)	432
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	168
Проведение лекционных занятий	98
Проведение практических занятий, семинаров	70
Самостоятельная работа (ак.час.)	264
Формы текущего контроля	Защищаемое контрольное мероприятие (15)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (7 триместр) Экзамен (8 триместр) Зачет (9 триместр) Зачет (10 триместр) Экзамен (11 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Период 1

1. Тензорное исчисление

Криволинейные координаты, различные определения тензора, метрические и дискриминантные тензоры, алгебра тензоров, ортогональные криволинейные координаты, симметричный тензор второго ранга, дифференцирование по координатам векторов и тензоров, тождество Риччи, тензор Римана, оператор Гамильтона, дифференциальные операции над тензорами –градиент, дивергенция, ротор; интегральные операции.

Криволинейные координаты. Определение тензора. Алгебра тензоров

Рассматриваются определение тензора, алгебраические операции над тензорами в произвольных криволинейных координатах

Тензорные поля. Дифференцирование тензоров

Рассматривается зависимость тензоров от координат, дифференцирование координатных векторов и тензоров. Устанавливаются правила вычисления ковариантных производных

2. Кинематика деформируемых сред

Тема 2. Лагранжево и Эйлерово описание движения сплошной среды

Различные системы координат, используемые для описания движения сплошной среды. Векторы скорости и ускорения точек сплошной среды. Способы Лагранжа и Эйлера описания движения сплошной среды, их эквивалентность. Закон движения. Траектории движения частиц сплошной среды. Линии тока. Трубки тока. Вихревые линии, вихревые поверхности, вихревые трубки.

Тема 3. Движение бесконечно малого объема сплошной среды

Относительное удлинение и сдвиг. Тензоры деформаций Грина и Альманси. Выражение компонент тензоров деформаций через перемещения. Инварианты, главные значения и главные направления тензоров деформаций. Экстремальные свойства главных значений и относительных удлинений в направлении главных осей. Условия совместности деформаций. Условия совместности малых деформаций.

Тема 4. Тензор скоростей деформаций

Скорость относительного удлинения. Скорость сдвига. Скорость объемной деформации. Тензор скоростей деформаций. Условие совместности скоростей деформаций. Скорости деформирования окрестности частицы. Первая теорема Гельмгольца.

Тема 5. Потенциальные движения сплошной среды

Определение потенциального движения. Свойства потенциальных движений. Примеры потенциальных движений.

Тема 6. Вихревые движения сплошной среды

Вторая теорема Гельмгольца. Интенсивность вихревой трубки. Циркуляция. Связь интенсивности вихревой трубки с циркуляцией вектора скорости вдоль контура, охватывающего вихревую трубку.

Период 2

1. Основные динамические понятия и уравнения механики сплошных сред

Тема 7. Теория напряжений

Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы. Вектор напряжений. Напряженное состояние. Тензор напряжений. Симметричность тензора напряжений. Механический смысл компонент тензора напряжений в ортогональных криволинейных координатах.

Тема 8. Принцип сохранения массы.

Принцип сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Лагранжа и Эйлера.

Тема 9. Закон об изменении количества движения.

Закон об изменении количества движения сплошной среды. Уравнения движения сплошной среды в пространственных и материальных координатах. Тензор напряжений Пиола-Кирхгоффа. Уравнения движения в геометрически линейной теории деформаций. Уравнения равновесия.

Тема 10. Теорема об изменении момента количества движения сплошной среды

Тема 11. Теорема об изменении кинетической энергии сплошной среды

2. Замкнутые системы уравнений для простейших моделей сплошных сред

Тема 12. Модель идеальной жидкости

Определение идеальной жидкости. Уравнения движения идеальной жидкости. Модель идеальной несжимаемой жидкости. Интегралы уравнений движения идеальной несжимаемой жидкости. Равновесие идеальной несжимаемой жидкости, закон Архимеда. Примеры движения идеальной жидкости. Модель идеального баротропного газа. Интегралы уравнений движения баротропного газа. Звуковые волны. Плоская звуковая волна. Конус Маха.

Тема 13. Модель линейной вязкой жидкости

Определение вязкой жидкости. Закон Навье-Стокса. Уравнения движения вязкой жидкости. Модель однородной несжимаемой вязкой жидкости. Диссипация энергии. Течение вязкой жидкости в цилиндрической трубе, закон Пуазейна.

Тема 14. Модель линейно упругого изотропного тела

Определение упругого тела. Закон Гука. Случай изотропной среды. Уравнения движения линейно упругого изотропного тела. Случай малых деформаций. Упругие волны.

3. Термодинамика сплошной среды

Тема 15. Основные определения и понятия термодинамики

Термодинамическая система. Состояние термодинамической системы. Параметры состояния. Фазовое пространство состояний термодинамической системы. Взаимодействие с внешней средой.

Термодинамические процессы. Температура.

Тема 16. Первое начало термодинамики

Формулировка первого начала термодинамики. Полная энергия термодинамической системы. Внутренняя энергия. Уравнение притока тепла для конечного и бесконечно малого объема. Случай квазистатического процесса.

Тема 17. Двухпараметрическая сплошная среда

Понятие двухпараметрической сплошной среды. Уравнение притока тепла. Совершенный газ. Идеальные процессы. Изотермы совершенного газа. Адиабаты Пуассона. Взаимное расположение адиабат и изотерм. Работа внутренних поверхностных сил в совершенном газе. Цикл Карно. Формулировка второго начала термодинамики для цикла Карно. Теорема Карно. Введение абсолютной температуры. Второе начало термодинамики для необратимого цикла Карно. Второе начало термодинамики для произвольного обратимого цикла. Энтропия. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред. Частные случаи поведения совершенного газа.

Тема 18. Второе начало термодинамики для произвольной термодинамической системы

Количественная формулировка второго начала термодинамики для многопараметрической среды. Введение энтропии. Некомпенсированное тепло. Основное неравенство термодинамики. Неравенство Клаузиуса-Дюгема.

Период 3

1. Модели сплошных сред, описывающие термодинамические явления. Идеальная жидкость и идеальный газ

Тема 19. Идеальная жидкость. Механические уравнения. Термодинамические уравнения. Внутренняя энергия. Параметры теплоемкости. Физическое уравнение в случае, когда внутренняя энергия является функцией температуры. Полная система уравнений идеальной жидкости.

Тема 20. Идеальный газ. Механические уравнения. Термодинамические уравнения. Термодинамические потенциалы. Физическое уравнение идеального газа как двухпараметрической среды. Полная система уравнений идеального газа. Случай адиабатического и термодинамического процессов. Модель совершенного газа.

2. Модели сплошных сред, описывающие термодинамические явления. Вязкая жидкость, упругое тело.

Тема 21. Вязкая жидкость. Механические уравнения. Термодинамические уравнения. Условие Гиббса. Термодинамический потенциал внутренней энергии. Физические уравнения. Полная система уравнений модели вязкой жидкости.

Тема 22. Упругое тело. Построение физических уравнений термоупругости с использованием термодинамического потенциала свободной энергии. Изотермические модули упругости, коэффициенты температурных напряжений, теплоемкость при постоянных деформациях. Построение физических уравнений термоупругости с использованием термодинамического потенциала Гиббса. Изотермические коэффициенты податливости, коэффициенты температурных деформаций, теплоемкость при постоянных напряжениях. Связь между изотермическими параметрами упругого тела, появляющимися при построении физических уравнений с использованием потенциала свободной энергии и потенциала Гиббса. Полная система уравнений модели термоупругого тела.

3. Элементы теории размерностей и подобия

Тема 24. Понятие о системе единиц измерения
Первичные и производные размерные величины. Эталоны размерных величин. Операция умножения размерностей. Примеры размерных величин

Тема 25. Преобразование масштаба и структуры системы единиц измерения
Преобразование масштаба системы единиц измерения. Свойства преобразования масштаба системы единиц измерения. Преобразование структуры системы единиц измерения. Внесистемные единицы измерения.

Тема 26. П-теорема

Тема 27. Приведение размерных соотношений к безразмерному виду
Ревизионный анализ. Подобные явления. Критерии подобия. Примеры ревизионного анализа.

Период 4

1. Постановка задач теории упругости в напряжениях и перемещениях

Тема 31. Постановка задач линейной теории упругости в напряжениях и перемещениях
Уравнение Навье. Уравнение Бельтрами-Мичела. Граничные и начальные условия. Типы задач. Единственность решения краевой задачи статики.

2. Принцип возможных перемещений, теорема об изменении потенциальной энергии, теорема Бетти

Тема 32. Общие теоремы статики
Принцип возможных перемещений в механике сплошной среды. Положительная определенность работы деформации упругого тела. Теорема о минимуме потенциальной энергии. Теорема о минимуме дополнительной энергии. Ограничение возможных значений коэффициента Пуассона. Вариационный принцип Хеллингера-Вашизу. Теорема взаимности.

3. Вариационные принципы Хелингера-Вашизу, Рейсснера, Лагранжа

Тема 33. Тензор перемещений Грина

Определение тензора перемещений Грина. Формула Грина. Вычисление тензора перемещений Грина для бесконечной изотропной среды.

4. Метод функций Грина решения задач классической теории упругости

Рассматривается построение общего решения классической задачи упругости в перемещениях методом функций Грина.

Период 5

1. Деформационная теория пластичности

Пластические свойства, выявленные при растяжении=сжатии образца

Предел упругости, предел пластичности, упрочнение, эффект Баушингера. Физические уравнения пластичности при одномерном нагружении.

Дополнительные сведения о напряженном и деформированном состоянии в точке

Интенсивность напряжений, интенсивность деформаций. Интерпретация Роша. Призма Кулона, цилиндр Губера-Мизеса. Направляющие тензоры напряжений и деформаций. Простая зависимость тензора от параметра. Теорема о связи между тензорами напряжений и деформаций при их простой зависимости от параметра.

2. Ассоциированный закон течения

Тема 36. Теория малых упругопластических деформаций

Физические уравнения теории малых упругопластических деформаций при активном нагружении и разгрузке. Условие пластичности. Определение материальных параметров и функций в эксперименте.

Постановка задач пластичности. Теорема единственности. Теорема о минимуме работы внутренних сил. Теорема о простом нагружении. Теорема о разгрузке. Остаточные напряжения и деформации.

Постулат Друкера. Построение уравнений ассоциированного закона течения. Возможные представления уравнения поверхности в ассоциированном законе течения.

3. Инженерные задачи пластичности

Рассматриваются простейшие задачи пластичности: растяжение, изгиб и кручение бруса

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. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред : курс лекций / В. Н. Шинкин. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2010. — 235 с. — ISBN 978-5-87623-370-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/56090>
2. Кульгина, Л. М. Теоретическая механика. Механика сплошных сред : учебное пособие / Л. М. Кульгина. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. — 193 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/63248.html>
3. Папуша, А. Н. Механика сплошных сред / А. Н. Папуша. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 688 с. — ISBN 978-5-4344-0715-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/91963>
4. Мишачев, Н. М. Дифференциальная геометрия и тензорный анализ : задания к типовому расчету / Н. М. Мишачев, В. М. Тюрин. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 17 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/22865>

Дополнительная:

1. Пестренин В. М., Пестренина И. В., Ландик Л. В. Задачи механики упругих тел с особыми точками: монография / В. М. Пестренин, И. В. Пестренина, Л. В. Ландик. — Пермь: ПГНИУ, 2019, ISBN 978-5-7944-3320-3. — 217 с. — Библиогр.: с. 213-216 <https://elis.psu.ru/node/575067>
2. Ханефт, А.В. Механика сплошных сред : учебное пособие : в 2 частях / А.В. Ханефт. — Кемерово : КемГУ, [б. г.]. — Часть 2 : Теория упругости — 2018. — 104 с. — ISBN 978-5-8353-2284-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619863>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu> Электронные ресурсы для ПГНИУ

<http://window.edu.ru/> Единое окно доступа к образовательным ресурсам

<http://www.mathnet.ru/> Общероссийский математический портал

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

Образовательный процесс по дисциплине **Механика сплошных сред** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

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

- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;

- офисный пакет приложений «LibreOffice», Alt Linux;

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**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

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

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

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

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным 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 сплошных сред**

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

ПК.1

Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>Способность математически корректно ставить естественнонаучные задачи, знание постановок классических задач математики и механики: знать - корректную постановку задач МСС; уметь - корректно ставить задачи МСС; владеть - навыками корректной постановки задач МСС.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает - корректную постановку задач МСС; умеет - корректно ставить задачи МСС; владеет - навыками корректной постановки задач МСС.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Знает - корректную постановку задач МСС; не умеет - корректно ставить задачи МСС; не владеет - навыками корректной постановки задач МСС.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Знает - корректную постановку задач МСС; умеет - корректно ставить задачи МСС; не владеет - навыками корректной постановки задач МСС.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Знает - корректную постановку задач МСС; умеет - корректно ставить задачи МСС; владеет - навыками корректной постановки задач МСС.</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p>Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований: знать - постановку задач МСС для различных математических моделей; уметь - корректно ставить задачи МСС для различных моделей сплошных сред;</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает - постановку задач МСС для различных математических моделей; не умеет - корректно ставить задачи МСС для различных моделей сплошных сред; не владеет - навыками постановок задач МСС для различных моделей.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Знает - постановку задач МСС для различных математических моделей; не умеет - корректно ставить задачи МСС</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	владеть - навыками постановок задач МСС для различных моделей.	<p>Удовлетворительн для различных моделей сплошных сред; не владеет - навыками постановок задач МСС для различных моделей.</p> <p>Хорошо Знает - постановку задач МСС для различных математических моделей; умеет - корректно ставить задачи МСС для различных моделей сплошных сред; не владеет - навыками постановок задач МСС для различных моделей.</p> <p>Отлично Знает - постановку задач МСС для различных математических моделей; умеет - корректно ставить задачи МСС для различных моделей сплошных сред; владеет - навыками постановок задач МСС для различных моделей.</p>

УК.1

Способен осуществлять поиск, анализ и синтез информации, применять системный подход для разрешения проблемных ситуаций

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
УК.1.1 Осуществляет поиск информации, производит критическую оценку надежности ее источников	В результате обучения студент должен уметь искать необходимую для решения задачи информацию и провести оценку ее надежности	<p>Неудовлетворител Студент не умеет искать необходимую для решения задачи информацию</p> <p>Удовлетворительн Студент испытывает затруднения при поиске необходимой для решения задачи информации</p> <p>Хорошо Студент умеет искать необходимую для решения задачи информацию</p> <p>Отлично Студент умеет искать необходимую для решения задачи информацию и проводит оценку ее надежности</p>

УК.2

Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать способы их решения, исходя из имеющихся ресурсов и ограничений

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
УК.2.1	В результате обучения студент	Неудовлетворител

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
Формулирует задачи, исходя из поставленной цели	должен уметь формулировать постановку для предложенной задачи	<p>Неудовлетворител Студент не может сформулировать постановку для предложенной задачи</p> <p>Удовлетворительн Студент испытывает затруднения при формулировке постановки для предложенной задачи</p> <p>Хорошо Студент формулирует постановку для предложенной задачи, допуская небольшие неточности</p> <p>Отлично Студент уверенно формулирует постановку для предложенной задачи</p>

УК.4

Способен осуществлять деловую коммуникацию на русском и иностранном языках в устной и письменной формах

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
УК.4.3 Представляет результаты деятельности на публичных мероприятиях в устной и письменной формах	В результате обучения студент должен уметь представлять полученные результаты в устной и письменной формах	<p>Неудовлетворител Студент не умеет представлять полученные результаты ни устной ни в письменной формах</p> <p>Удовлетворительн Студент испытывает затруднения при представлении полученных результатов</p> <p>Хорошо Студент умеет представлять полученные результаты в устной и письменной формах</p> <p>Отлично Студент умеет представлять полученные результаты в устной и письменной формах, может проводить дискуссию по предложенной теме</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
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований	Криволинейные координаты. Определение тензора. Алгебра тензоров	Знание определения тензора, умение проводить алгебраические операции над тензорами, записывать тензорные соотношения в ортогональных криволинейных координатах
УК.1.1 Осуществляет поиск информации, производит критическую оценку надежности ее источников	Защищаемое контрольное мероприятие	
УК.2.1 Формулирует задачи, исходя из поставленной цели		
УК.4.3 Представляет результаты деятельности на публичных мероприятиях в устной и письменной формах		

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>УК.1.1 Осуществляет поиск информации, производит критическую оценку надежности ее источников</p> <p>УК.2.1 Формулирует задачи, исходя из поставленной цели</p> <p>УК.4.3 Представляет результаты деятельности на публичных мероприятиях в устной и письменной формах</p>	<p>Тензорные поля. Дифференцирование тензоров</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Владение ковариантным дифференцированием, знание построения тензора Римана, умение вычислять характеристики симметричного тензора второго ранга (главные значения и направления) и знание их свойств</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p>2. Кинематика деформируемых сред</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знание формулы для скоростей и ускорений точек сплошной среды. Умение вычислять компоненты тензоров деформаций и скоростей деформаций в произвольных координатах. Сформированное умение использования формул для вычисления относительных удлинений, сдвигов, скоростей относительных удлинений и скоростей сдвигов</p>

Спецификация мероприятий текущего контроля

Криволинейные координаты. Определение тензора. Алгебра тензоров

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
умение записывать тензорные соотношения в ортогональных криволинейных координатах	17
умение проводить алгебраические операции над тензорами,	7
Знание определения тензора,	6

Тензорные поля. Дифференцирование тензоров

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**
 Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
 Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**
 Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
умение вычислять характеристики симметричного тензора второго ранга (главные значения и направления) и знание их свойств.	19
знание построения тензора Римана,	11
Владение ковариантным дифференцированием,	10

2. Кинематика деформируемых сред

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**
 Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
 Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**
 Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Сформированное умение использования формул для вычисления относительных удлинений, сдвигов, скоростей относительных удлинений и скоростей сдвигов	17
Знание формулы для скоростей и ускорений точек сплошной среды.	7
Умение вычислять компоненты тензоров деформаций и скоростей деформаций в произвольных координатах.	6

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
----------------------------	----------------------------------	---

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p>1. Основные динамические понятия и уравнения механики сплошных сред Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>знать основные понятия: тензор напряжений, вектор напряжений, напряженное состояние, кинетическая энергия и законы: об изменении количества движения, принцип сохранения массы, об изменении момента количества движения; уметь выводить уравнения движения, неразрывности, доказывать симметричность тензора напряжений, теорему об изменении кинетической энергии;приобрести навыки вычисления вектора напряжений, формулировки граничных условий в напряжениях и перемещениях;овладеть основными динамическими понятиями, законами и уравнениями механики сплошных сред.</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>2. Замкнутые системы уравнений для простейших моделей сплошных сред Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знает определение идеальной и вязкой жидкости, упругого тела;умеет строить математические модели идеальной и вязкой жидкости, упругого тела;овладел постановкой задач механики сплошных сред для моделей идеальной и вязкой жидкости линейно упругого тела.</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>3. Термодинамика сплошной среды Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знает основные понятия термодинамики: термодинамическая система, параметры состояния, термодинамические процессы, фазовые пространства, равновесность и неравновесность, циклы, обратимость и необратимость; законы: первый и второй законы термодинамики;умеет обосновывать законы термодинамики;</p>

Спецификация мероприятий текущего контроля

1. Основные динамические понятия и уравнения механики сплошных сред

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
овладеть основными динамическими понятиями, законами и уравнениями механики сплошных сред.	17
уметь выводить уравнения движения, неразрывности, доказывать симметричность тензора напряжений, теорему об изменении кинетической энергии; приобрести навыки вычисления вектора напряжений, формулировки граничных условий в напряжениях и перемещениях;	7
знать основные понятия: тензор напряжений, вектор напряжений, напряженное состояние, кинетическая энергия и законы: об изменении количества движения, принцип сохранения массы, об изменении момента количества движения;	6

2. Замкнутые системы уравнений для простейших моделей сплошных сред

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
овладел постановкой задач механики сплошных сред для моделей идеальной и вязкой жидкости линейно упругого тела.	17
умеет строить математические модели идеальной и вязкой жидкости, упругого тела;	7
Знает определение идеальной и вязкой жидкости, упругого тела;	6

3. Термодинамика сплошной среды

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

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
умеет обосновывать законы термодинамики;	19
Знает основные понятия термодинамики: термодинамическая система, параметры состояния, термодинамические процессы, фазовые пространства, равновесность и неравновесность, циклы, обратимость и необратимость; законы: первый и второй законы термодинамики;	11
Знает законы: первый и второй законы термодинамики;	10

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

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
ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	1. Модели сплошных сред, описывающие термодинамические явления. Идеальная жидкость и идеальный газ Защищаемое контрольное мероприятие	Знает законы механики и термодинамики для идеальной жидкости и идеального газа; умеет строить модель идеальной жидкости и идеального газа с использованием термодинамических потенциалов; владеет постановкой задач для идеальной жидкости и идеального газа с учетом термодинамических явлений.
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	2. Модели сплошных сред, описывающие термодинамические явления. Вязкая жидкость, упругое тело. Защищаемое контрольное мероприятие	Знает понятия системы единиц измерения размерных величин; преобразование масштаба и структуры системы единиц измерения; умеет проводить ревизионный анализ заданных размерных величин; владеет методами приведения к безразмерному виду заданной системы размерных соотношений.
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	3. Элементы теории размерностей и подобия Защищаемое контрольное мероприятие	Знает понятия системы единиц измерения размерных величин; преобразование масштаба и структуры системы единиц измерения; умеет проводить ревизионный анализ заданных размерных величин; владеет методами приведения к безразмерному виду заданной системы размерных соотношений.

Спецификация мероприятий текущего контроля

1. Модели сплошных сред, описывающие термодинамические явления. Идеальная жидкость и идеальный газ

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
владеет постановкой задач для идеальной жидкости и идеального газа с учетом термодинамических явлений.	17
умеет строить модель идеальной жидкости и идеального газа с использованием термодинамических потенциалов;	7
Знает законы механики и термодинамики для идеальной жидкости и идеального газа;	6

2. Модели сплошных сред, описывающие термодинамические явления. Вязкая жидкость, упругое тело.

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
владеет методами приведения к безразмерному виду заданной системы размерных соотношений.	17
умеет проводить ревизионный анализ заданных размерных величин;	7
Знает понятия системы единиц измерения размерных величин; преобразование масштаба и структуры системы единиц измерения;	6

3. Элементы теории размерностей и подобия

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

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
владеет методами приведения к безразмерному виду заданной системы размерных соотношений.	22
умеет проводить ревизионный анализ заданных размерных величин;	10
Знает понятия системы единиц измерения размерных величин; преобразование масштаба и структуры системы единиц измерения;	8

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

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
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>2. Принцип возможных перемещений, теорема об изменении потенциальной энергии, теорема Бетти</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знает постановку задачи классической теории упругости, физический смысл материальных констант; умеет доказывать принцип возможных перемещений, теорему (прямую и обратную) о минимуме потенциальной энергии, теорему взаимности, теорему единственности; владеет способами решения задач классической теории упругости.</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>3. Вариационные принципы Хелингера-Вашизу, Рейсснера, Лагранжа</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знать формулировку вариационного принципа Хелингера-Вашизу, условия, накладываемые на варьируемые функции; построение уравнений Эйлера, отвечающих функционалу Хелингера-Вашизу; знать ограничения, накладываемые на варьируемые функции при построении функционалов Рейсснера и Лагранжа</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>4. Метод функций Грина решения задач классической теории упругости</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знает построение общего решения упругой задачи перемещений с использованием тензора Грина; умеет строить тензор Грина для бесконечной изотропной среды (тензор Сомельяно); владеет решением конкретных задач методом функций Грина</p>

Спецификация мероприятий текущего контроля

2. Принцип возможных перемещений, теорема об изменении потенциальной энергии, теорема Бетти

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
владеет способами решения задач классической теории упругости.	17
умеет доказывать принцип возможных перемещений, теорему (прямую и обратную) о минимуме	7

потенциальной энергии, теореме взаимности, теореме единственности;	
Знает постановку задачи классической теории упругости, физический смысл материальных констант;	6

3. Вариационные принципы Хелингера-Вашизу, Рейсснера, Лагранжа

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
знать ограничения, накладываемые на варьируемые функции при построении функционалов Рейсснера и Лагранжа	17
построение уравнений Эйлера, отвечающих функционалу Хелингера-Вашизу;	7
Знать формулировку вариационного принципа Хелингера-Вашизу, условия, накладываемые на варьируемые функции;	6

4. Метод функций Грина решения задач классической теории упругости

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

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
владеет решением конкретных задач методом функций Грина	22
умеет строить тензор Грина для бесконечной изотропной среды (тензор Сомельяно); владеет решением конкретных задач методом функций Грина	10
Знает построение общего решения упругой задачи перемещений с использованием тензора Грина;	8

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
-------------------------	-------------------------------	--

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>1. Деформационная теория пластичности</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знает основные понятия упругопластического тела: элементы диаграммы деформирования, условия текучести Мизеса и Треска – Сен-Венана, умеет строить деформационную модель пластического тела и модель ассоциативного течения; владеет навыками решения задач упругопластичности.</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>2. Ассоциированный закон течения</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Знает постулат Друкера, умеет строить уравнение пластичности с использованием постулата Друкера, владеет способом построения уравнений упруго-пластического течения</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>3. Инженерные задачи пластичности</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Кручение стержня круглого сечения; изгиб прямого бруса; упруго-пластическое растяжение бруса; совместное растяжение и кручение тонкостенной трубы (деформационная теория); совместное растяжение и кручение толстостенной трубы (теория течения)</p>

Спецификация мероприятий текущего контроля

1. Деформационная теория пластичности

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
владеет навыками решения задач упругопластичности.	17
умеет строить деформационную модель пластического тела и модель ассоциативного течения;	7
Знает основные понятия упругопластического тела: элементы диаграммы деформирования,	6

условия текучести Мизеса и Треска – Сен-Венана,	

2. Ассоциированный закон течения

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
владеет способом построения уравнений упруго-пластического течения	17
умеет строить уравнение пластичности с использованием постулата Друкера,	7
Знает постулат Друкера,	6

3. Инженерные задачи пластичности

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

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
совместное растяжение и кручение толстостенной трубы (теория течения)	8
совместное растяжение и кручение тонкостенной трубы (деформационная теория);	8
изгиб прямого бруса;	8
Кручение стержня круглого сечения;	8
упруго-пластическое растяжение бруса;	8