

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан  
Л. В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

**Механика сплошной среды**

по направлению подготовки

**01.03.03 Механика и математическое моделирование**

Направленность (профиль) подготовки :

**Основы научно-исследовательской деятельности в области механики и  
математического моделирования**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2023**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП  
Л.В. Гензе

Председатель УМК

Е.А. Тарасов

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания в области математического анализа, комплексного и функционального анализа, алгебры, аналитической геометрии, дифференциальной геометрии и топологии, дифференциальных уравнений, дискретной математики и математической логики, теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, численных методов, теоретической механики как для использования в профессиональной деятельности, так и для консультирования.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Демонстрирует навыки работы с профессиональной литературой по основным естественнонаучным и математическим дисциплинам

ИОПК 1.2 Демонстрирует навыки выполнения стандартных действий, решения типовых задач с учетом основных понятий и общих закономерностей, формулируемых в рамках базовых математических и естественнонаучных дисциплин

ИОПК 1.3 Владеет фундаментальными знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук

## **2. Задачи освоения дисциплины**

1. Приобретение знаний о принципах построения математических моделей физико-механических явлений и процессов. Приобретение знаний о замкнутых математических постановках задач механики сплошных сред и методах их анализа и решения.

2. Формирование умений анализировать сделанную математическую постановку, линеаризовать поставленную нелинейную задачу механики сплошных сред для ее предварительного исследования.

3. Развитие навыков математической постановки и решения задач различных разделов механики сплошных сред, навыков использования практических приемов и методов решения задач классических разделов механики сплошных сред.

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

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Четвертый семестр, зачет с оценкой

Пятый семестр, зачет с оценкой

Шестой семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: теоретическая механика, математический анализ.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 13 з.е., 459 часов, из которых:

-лекции: 128 ч.

-практические занятия: 112 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Введение. Основные понятия и определения. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Первый закон термодинамики. Формула Майера. Применение первого закона термодинамики к некоторым термодинамическим процессам.

Краткое содержание темы: Студент знакомится с основными понятиями и определениями механики сплошных сред и термодинамики, уравнениями состояния идеального и реального газов, первым началом термодинамики и его применением.

Тема 2. Второй закон термодинамики. Теорема Карно. Пределы применимости второго закона термодинамики. Принцип адиабатной недостижимости Каратеодори. Понятие о термодинамических циклах и тепловой машине Карно. Третий закон термодинамики. Шкалы температур.

Краткое содержание темы: Студент знакомится со вторым началом термодинамики, его применимостью и рядом следствий. Разбирается вопрос о направлении термодинамических процессов и термодинамических циклах. На примере тепловой машины Карно и цикла Карно рассматриваются теоретические основы тепловых машин. Вводится понятие температуры и постулируется третье начало термодинамики.

Тема 3. Идеальные циклы тепловых машин. Двигатель Отто. Цикл Дизеля. Цикл Тринклера. Некоторые другие термодинамические циклы. Идеальные циклы воздушно-реактивных двигателей. Понятие о термодинамических потенциалах. Термодинамика и основное уравнение переноса излучения в материальных средах. Планирование и проведение физических экспериментов.

Краткое содержание темы: Студент знакомится с рядом основных термодинамических циклов тепловых машин (Отто, Дизеля, Тринклера и др.). Приводятся основные положения идеальных циклов воздушно-реактивных двигателей. Вводится понятие о термодинамических потенциалах и их применении в термодинамике. Рассматриваются вопросы переноса тепла излучением и планирования физических экспериментов.

Тема 4. Основы векторной алгебры.

Краткое содержание темы. Студент знакомится с основными понятиями векторной алгебры. Вводится понятие точечно-векторного линейного пространства. Дается определение объектов векторной природы. Рассматриваются вопросы преобразования базисных векторов и компонент вектора.

Тема 5. Основы тензорной алгебры.

Краткое содержание темы. Студент знакомится с основными понятиями тензорной алгебры. Вводится понятие тензора. Рассматриваются основные алгебраические операции с тензорами различных рангов. Вводятся понятия собственный базис и собственные значения. Рассматриваются линейные преобразования координат.

Тема 6. Тензорный анализ. Дифференцирование тензора второго ранга.

Краткое содержание темы. Рассматриваются вопросы дифференцирования тензорных полей. Вводятся в рассмотрение символы Кристоффеля и набла оператор Гамильтона. Студент знакомится с ковариантным дифференцированием тензора второго ранга.

Тема 7. Тензорный анализ. Интегрирование тензорных полей.

Краткое содержание темы. Представлены основные формулы вычисления двойных и тройных интегралов с помощью перехода к однократным интегралам, а также с помощью замены переменных при переходе к криволинейным координатам. Представлены примеры решения типовых задач вычисления двойных и тройных интегралов. Вводятся в рассмотрение криволинейные, поверхностные и объемные интегралы. Студент знакомится с инвариантными формулами Стокса и Гаусса – Остроградского.

Тема 8. Кинематика сплошной среды. Подход к описанию движения сплошной среды Лагранжа и Эйлера.

Краткое содержание темы. Кинематика рассматривает способы описания движения материальных тел, отвлекаясь от причин этого движения. Для описания движения сплошной среды используются подходы Лагранжа и Эйлера. Студент знакомится с этими подходами. Вводятся понятия траектория, линия тока, завихренность и циркуляция.

Тема 9. Теория напряженно-деформируемого состояния. Тензор деформации, тензор напряжений. Уравнения равновесия.

Краткое содержание темы. Студент знакомится с основами теории напряженно-деформированного состояния сплошной среды. Вводятся в рассмотрение тензор деформации, тензор скоростей деформации, тензор напряжений. Рассматриваются силы и ары сил, действующие на элементарный объем. Выводятся уравнения равновесия.

Тема 10. Уравнения сохранения массы, количества движения, кинетического момента, энергии.

Краткое содержание темы. Рассматривается запись уравнений сохранения, выражающих баланс массы, количества движения и энергии. Обсуждается вопрос задания начальных и граничных условий.

Тема 11. Основы теории определяющих соотношений. Реологические модели идеальных сред.

Краткое содержание темы. Студент знакомится с основами теории определяющих уравнений. формулируются основные принципы построения реологических моделей. Рассматриваются реологические модели идеальных сред.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Зачет с оценкой в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит теоретический вопрос и две задачи. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Первый закон термодинамики
2. Второй закон термодинамики
3. В чем заключалась ошибка Клазиуса?
4. Уравнение Клапейрона-Менделеева
5. Тепловая машина Карно
6. Третий закон термодинамики
7. От чего зависит КПД тепловой машины Отто?
8. Шкалы температур

9. Как определяется КПД термодинамического процесса?
10. Скаляры и векторы. Точечно-векторное аффинное пространство.
11. Базисные векторы и системы координат. Преобразование базисных векторов.
12. Взаимный базис. Преобразование векторов взаимного базиса.
13. Дюадное произведение. Определение тензора.
14. Алгебраические операции с тензорами. Девиатор и шаровой тензоры.
15. Определение главных компонент и главных значений.
16. Инварианты тензора. Теорема Гамильтона-Кэли.
17. Скалярное поле. Производная по направлению. Градиент скаляра.
18. Символы Кристоффеля.
19. Ковариантное дифференцирование вектора.
20. Ковариантное дифференцирование тензора.
21. Криволинейные интегралы
22. Поверхностные интегралы.
23. Объемные интегралы
24. Предмет и метод механики сплошных сред. Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Элементарный объем.
25. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Скорость и ускорение точек сплошной среды. Переход от Эйлера описания к Лагранжеву и обратно.
26. Деформации Коши.
27. Тензор скоростей деформаций.
28. Кинематический смысл компонент тензора скоростей деформаций.
29. Тензор напряжений.
30. Уравнения равновесия.
31. Уравнение баланса массы.
32. Уравнение движения сплошных сред в напряжениях.
33. Уравнение энергии.
34. Идеальная жидкость и идеальный газ. Уравнения Эйлера Теорема Бернулли.
35. Вязкая ньютоновская жидкостьюю
36. Течения Хагена – Пуазейля.
37. Течение Куэтта.
38. Течение в открытом канале.
39. Уравнения Навье – Стокса
40. Потенциальные и винтовые течения.

Примеры задач:

1. Задача 1.

$$A = a_{11} \quad a_{13} \quad a_{21} \quad a_{22} \quad a_{31} \quad a_{32}$$

Разложить:  $D = 3ii + 4ik + 6ji + 7jj + 10ki + 2kj$

1) на симметричный ( $E$ ) и антисимметричный ( $F$ );

2) проверить  $D = E + F$ ?

2. Задача 2.

Получить компоненты метрического тензора:  $g_{11}$ ,  $g_{22}$ ,  $g_{33}$  в сферической системе координат:  $0 < \rho < \infty$ ,  $0 \leq \theta \leq \pi$ ,  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ , если они связаны с декартовыми соотношениями  $\dot{x}^1 = \rho \sin(\theta) \cos(\varphi)$ ,  $\dot{x}^2 = \rho \sin(\theta) \sin(\varphi)$ ,  $\dot{x}^3 = \rho \cos(\theta)$ .

Ответ:  $g_{11} = 1$ ,  $g_{22} = \rho^2$ ,  $g_{33} = \rho^2 \sin^2(\varphi)$

3. Задача 3.

Для поля скоростей  $v^1 = x^1/(1+t)$ ,  $v^2 = x^2/(1+t)$ ,  $v^3 = x^3/(1+t)$  показать, что линии тока и траектории совпадают.

4. Задача 4.

Вихревой линией называется такая линия, касательная к которой в каждой точке движущейся среды направлена вдоль вектора вихря  $\Omega = 0.5q$ . Доказать, что уравнения вихревой линии имеют вид:  $dx_1/q_1 = dx_2/q_2 = dx_3/q_3$ .

5. Задача 5.

Непосредственным вычислением найти инварианты  $I_\Sigma$ ,  $II_\Sigma$ ,  $III_\Sigma$  и главные направления напряженного состояния

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} 6 & -3 & 0 \\ -3 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 8 \end{pmatrix}, \quad \begin{matrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{matrix}$$

и показать, что диагональная форма приводит к тем же самым значениям  $I$ ,  $II$ ,  $III$

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» ставится в случае, если дан правильный и развернутый ответ на вопрос. Студент четко и логично изложил свой ответ на поставленный в тесте вопрос.

Оценка «хорошо» ставится в случае, если дан правильный ответ на вопрос, но не все изложено развернуто и логически структурировано.

Оценка «удовлетворительно» ставится в случае, если в целом дан правильный ответ на вопрос, но он изложен поверхностно и с нарушением логики изложения.

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае, если ответ представлен очень поверхностно и с нарушением логики изложения, студент очень плохо владеет основными моделями и концепциями, допущены существенные терминологические и фактические ошибки.

Экзамен в шестом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть представляет собой тест из 5 вопросов, проверяющих ИУК-1.1. Ответы на вопросы первой части даются путем выбора из списка предложенных.

1. Свойства тензора деформаций.

- Тензор деформаций является симметричным
- Тензор деформаций является кососимметричным
- Тензор деформаций является диагональным
- Тензор деформаций является сферическим

2. Как определяется объёмная деформация?

- $\varepsilon_V = \frac{1}{3} \varepsilon_{kk}$
- $\varepsilon_V = \varepsilon_{kk}$
- $\varepsilon_V = \varepsilon_{ik} \varepsilon_{kj}$
- $\varepsilon_V = \varepsilon_{ij}$

3. Как определяется шаровая часть тензора деформаций?

- $\varepsilon_{ij}^S = \varepsilon_{ij} \delta_{ij}$
- $\varepsilon_{ij}^S = \varepsilon_{ij}$
- $\varepsilon_{ij}^S = \frac{1}{3} \varepsilon_{ij} \delta_{ij}$
- $\varepsilon_{ij}^S = \frac{1}{3} \varepsilon_{ij}$

4. Как определяется девиаторная часть тензора деформаций?

- $\varepsilon_{ij}^D = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \varepsilon_{ij} \delta_{ij}$
- $\varepsilon_{ij}^D = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \varepsilon_{kk} \delta_{ij}$
- $\varepsilon_{ij}^D = \varepsilon_{kk} - \frac{1}{3} \varepsilon_{ij} \delta_{ij}$
- $\varepsilon_{ij}^D = \varepsilon_{kk} - \frac{1}{3} \varepsilon_{kk} \delta_{ij}$

5. Что характеризует шаровая часть тензора деформаций?

- a. Всестороннее равномерное сжатие
- b. Одноосное растяжение
- c. Кручение
- d. Сдвиг

6. Что характеризует девиатор деформаций?

- a. Всестороннее равномерное сжатие
- b. Одноосное растяжение
- c. Кручение
- d. Сдвиг

7. Как определяется интенсивность сдвиговых деформаций?

a.  $U = \sqrt{\varepsilon^{D^i_j} \varepsilon^{D^j_i} / 2}$

b.  $U = \sqrt{2\varepsilon^{D^i_j} \varepsilon^{D^j_i}}$

c.  $U = \varepsilon_{ij} \delta_{ij}$

d.  $U = \varepsilon_{ij}$

8. Какой вид имеют соотношения Коши?

a.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

b.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

c.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \frac{\partial u_k}{\partial x_j} \right)$

d.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right)$

9. Какой вид имеют соотношения Грина?

a.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

b.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

c.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \frac{\partial u_k}{\partial x_j} \right)$

d.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right)$

10. Какой вид имеют соотношения Фингера?

a.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

b.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

c.  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \frac{\partial u_k}{\partial x_j} \right)$

$$d. \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right)$$

11. Что связывают соотношения Коши?

- Деформации и напряжения
- Деформации и скорость деформации
- Напряжения и скорость деформации
- Деформации и перемещения

12. Задан закон движения в переменных Лагранжа:  $x = x_0 e^{-kt}$ ,  $y = y_0 e^{-kt}$ ,  $z = z_0$ .

Определить поле скоростей в переменных Эйлера:

- $v_x = -kx$ ,  $v_y = -ky$ ,  $v_z = 0$ .
- $v_x = -ky$ ,  $v_y = -kx$ ,  $v_z = 0$ .
- $v_x = kx$ ,  $v_y = ky$ ,  $v_z = 0$ .
- $v_x = 0$ ,  $v_y = -ky$ ,  $v_z = kz$ .

13. Задано поле скорости:  $v_x = \frac{v_0}{h^2} (h^2 - y^2)$ ,  $v_y = 0$ ,  $v_z = 0$ . Определить завихренность течения.

- $\omega_x = 0$ ,  $\omega_y = 0$ ,  $\omega_z = -v_0 \frac{y}{h^2}$ .
- $\omega_x = 0$ ,  $\omega_y = 0$ ,  $\omega_z = 2v_0 \frac{y}{h^2}$ .
- $\omega_x = 0$ ,  $\omega_y = 2v_0 \frac{y}{h^2}$ ,  $\omega_z = 0$ .
- $\omega_x = 0$ ,  $\omega_y = 0$ ,  $\omega_z = v_0 \frac{y}{h}$ .

14. Задано поле скорости:  $v_x = \frac{v_0}{h^2} (h^2 - y^2)$ ,  $v_y = 0$ ,  $v_z = 0$ . Определить отличные от нуля компоненты тензор скоростей деформации.

- $\dot{\varepsilon}_{xy} = -2v_0 \frac{y}{h^2}$ ,
- $\dot{\varepsilon}_{yy} = -2v_0 \frac{y}{h^2}$
- $\dot{\varepsilon}_{xz} = -2v_0 \frac{z}{h^2}$
- $\dot{\varepsilon}_{xy} = -2v_0 \frac{x}{h^2}$ .

15. Точка зрения Лагранжа на изучение движения сплошной среды заключается в исследовании изменения величин (например, скорости, температуры, плотности), описывающих движение и состояние для

- каждой индивидуальной точки
- каждой точки пространства
- каждой точки среды

16. Точка зрения Эйлера на изучение движения сплошной среды заключается в исследовании изменения величин (например, скорости, температуры, плотности), описывающих движение и состояние для ...



- a. каждой индивидуальной точки
  - b. каждой точки пространства
  - c. каждой точки среды
17. Лагранжевы координаты движущейся сплошной среды с течением времени ...
- a. изменяются
  - b. не изменяются
18. Эйлеровы координаты движущейся сплошной среды с течением времени ...
- a. изменяются
  - b. не изменяются
19. Подходы к описанию движения сплошной среды с позиций Эйлера и Лагранжа ...
- a. эквивалентны
  - b. неэквивалентны
  - c. тождественны.
20. Физический смысл полной производной состоит в ...
- a. скорости изменения физической величины в данной точке сплошной среды
  - b. скорости изменения физической величины в данной точке пространства
  - c. скорости изменения физической величины точки среды за счет движения среды и неоднородности
21. Физический смысл локальной (местной) производной состоит в ...
- a. скорости изменения физической величины в данной точке сплошной среды
  - b. скорости изменения физической величины в данной точке пространства
  - c. скорости изменения физической величины точки среды за счет движения среды и неоднородности
22. Физический смысл конвективной производной состоит в ...
- a. скорости изменения физической величины в данной точке сплошной среды
  - b. скорости изменения физической величины в данной точке пространства
  - c. скорости изменения физической величины точки среды за счет движения среды и неоднородности
23. Траектория это
- a. линия в пространстве, по которой происходит движение рассматриваемой частицы с течением времени.
  - b. линия в каждой точке которой вектор скорости в данный момент времени направлен по касательной
  - c. линия в каждой точке которой в данный момент времени вектор завихренности направлен по касательной.
24. Линия тока это
- a. линия в пространстве, по которой происходит движение рассматриваемой частицы с течением времени.
  - b. линия в каждой точке которой вектор скорости в данный момент времени направлен по касательной
  - c. линия в каждой точке которой в данный момент времени вектор завихренности направлен по касательной.
25. Вихревая линия это
- a. линия в пространстве, по которой происходит движение рассматриваемой частицы с течением времени.
  - b. линия в каждой точке которой вектор скорости в данный момент времени направлен по касательной
  - c. линия в каждой точке которой в данный момент времени вектор завихренности направлен по касательной.
26. Вихревая трубка
- a. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная вихревой поверхностью, проходящей через замкнутый контур

b. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная поверхностью тока, проходящей через замкнутый контур

c. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная траекториями, проходящими через замкнутый контур

27. Трубка тока

a. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная вихревой поверхностью, проходящей через замкнутый контур

b. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная поверхностью тока, проходящей через замкнутый контур

c. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная траекториями, проходящими через замкнутый контур

28. Струя

a. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная вихревой поверхностью, проходящей через замкнутый контур

b. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная поверхностью тока, проходящей через замкнутый контур

c. часть пространства, заполненного жидкостью, ограниченная траекториями, проходящими через замкнутый контур

29. Если при движении жидкости в данной точке скорость не изменяется, то такое движение называется:

a. установившимся

b. неустановившимся

30. Любое движение элементарного объема жидкости можно в данный момент времени рассматривать как результат сложения следующих движений:

a. поступательного вместе с выбранным полюсом и вращательного вокруг полюса, и деформационного.

b. поступательного вместе с выбранным полюсом и вращательного вокруг полюса.

c. поступательного вместе с выбранным полюсом и деформационного.

Вторая часть содержит один вопрос, проверяющий ИОПК-2.2. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

1. Понятие сплошной среды

2. Подход Лагранжа и Эйлера для описания движения сплошных сред

3. Траектория, линия тока, поверхность тока вихревой трубки

4. Теорема Стокса о циркуляции

5. Теорема Гельмгольца о перемещении точек сплошной среды

6. Завихренность и циркуляция

7. Теорема Гельмгольца об интенсивности вихревой трубки

8. Деформации Коши. Свойства тензора деформаций.

9. Инварианты тензора деформаций

10. Девиатор и шаровая часть тензора деформаций. Интенсивность сдвиговых деформаций

11. Совместность деформаций Коши

12. Объемная деформация и коэффициент Пуассона

13. Деформации Грина и Альманси

14. Теорема Гельмгольца о скоростях точек сплошной среды

15. Тензор скоростей деформаций. Свойства тензора скоростей деформаций

16. Инварианты тензора скоростей деформаций

17. Девиатор и шаровая часть тензора скоростей деформаций.

18. Напряжения на произвольно ориентированной площадке

19. Тензор силовых напряжений. Свойства тензора силовых напряжений

20. Тензор моментных напряжений

21. Условие симметричности тензора напряжений
22. Главные оси и главные значения тензора напряжений.
23. Инварианты тензора напряжений
24. Уравнения равновесия.
25. Уравнения движения сплошных сред в напряжениях
26. Уравнение энергии
27. Уравнение неразрывности
28. Уравнение диффузии

Третья часть содержит 2 вопроса, проверяющих ИПК-3.3, оформленные в виде практических задач. Ответы на вопросы третьей части предполагают решение задач и краткую интерпретацию полученных результатов.

Примеры задач:

Задача 1:

Показать, что поле скорости  $v_i = Ax_i/r^3$ ,  $A = \text{const}$  удовлетворяет уравнению неразрывности несжимаемой жидкости

Задача 2:

Теорема об изменении количества движения в дифференциальной форме выражается уравнением

$$\partial(\rho v_i) / \partial t = \rho b_i + \partial(\sigma_{ij} - \rho v_i v_j) / \partial x_j, \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (8.3.1)$$

где  $\sigma_{ij}$  – тензор напряжений,  $\rho v_i$  – массовые силы с плотностью распределения  $b_i$ .

Доказать, что уравнение

$$\rho dv_i / dt = \rho b_i + \partial(\sigma_{ij}) / \partial x_j$$

следует из (8.3.1).

Задача 3:

Определить среднее нормальное напряжение  $\sigma_{ij}/3$  в несжимаемой стоксовой жидкости, для которой тензор вязких напряжений

$$\tau_{ij} = \alpha D_{ij} + \beta D_{ik} D_{kj},$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – постоянные

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Письменная часть экзамена максимально может быть оценена 5 баллами за каждый вопрос. Итоговая оценка суммируется из оценок за каждый вопрос. При ответе на вопрос оценивается полнота и точность ответа, логичность и аргументированность изложения материала, умения использовать в ответе фактический материал.

*Система критериев при оценивании ответов на вопросы экзамена*

Оценка	Критерии соответствия
5	Дан правильный и развернутый ответ на вопрос. Студент четко и логично изложил свой ответ на поставленный в билете вопрос.
4	Дан правильный ответ на вопрос, но не все изложено развернуто и логически структурировано.
3	В целом дан правильный ответ на вопрос, но он изложен поверхностно и с нарушением логики изложения.
2	Ответ представлен очень поверхностно и с нарушением логики изложения. Студент очень плохо владеет основными моделями

	и концепциями механики. Допущены существенные терминологические и фактические ошибки.
1	Дан неправильный ответ, однозначно неправильная трактовка темы.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронные учебные курсы по дисциплине в электронном университете «Moodle» :

4-й семестр <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=9382>

5-й семестр <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=9383>

6-й семестр <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24989>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Васильева И.А., Волков Д.П., Заричняк Ю.П. ТЕРМОДИНАМИКА. Основные законы. Учебное пособие - Санкт-Петербург: СПб: Университет ИТМО, 2016, 2016. - 48 с.
2. Глаголев К. В. Физическая термодинамика : учебное пособие / К. В. Глаголев, А. Н. Морозов. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 269 с.
3. Черняк В. Г. Механика сплошных сред : [учебное пособие] / В. Г. Черняк, П. Е. Суетин. – Москва : Физматлит, 2006. – 352 с.: ил
4. Победря Б. Е. Основы механики сплошной среды : курс лекций : [учебное пособие] / Б. Е. Победря, Д. В. Георгиевский. – М. : Физматлит, 2006. – 272 с.
5. Елисеев В. В Механика деформируемого твердого тела. Санкт-Петербург: Санкт-Петербург, 2006
6. Миронов, Л.П. Теория упругости с основами пластичности и ползучести : учеб. пособие– Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2014
7. Трусов П.В., Швейкин А.И. Теория пластичности: учебное пособие для вузов. - Пермь: изд-во ПНИПУ, 2011.-418 с.
8. Малкин А. Я., Исаев А. И. Реология. Концепции, методы, приложения Москва: Профессия, 2007

б) дополнительная литература:

1. Ван-дер-Ваальс И. Д., Констамм Ф. Курс термостатики. Термические равновесия материальных систем. В 2-х частях Госхимиздат, 1936. 897 с.
2. И.Р. Кричевский Понятия и основы термодинамики. М.: Химия, 1970. 440 с.
3. И.П. Базаров Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991. 376 с.
4. В.Ф. Ноздрев Курс термодинамики. М.: Изд-во «Просвещение», 1967. 247 с.
5. Горшков А.Г., Старовойтов Э.И., Тарлаковский Д.В. Теория упругости и пластичности. Учебник для вузов. – М.: Физматлит, 2002. - 416с.
6. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. М.: Мир, 1974. – 457с.
7. Меньщиков В.М., Тешуков В.М. Газовая динамика. Задачи и упражнения. /Новосиб. Гос. Университет, Новосибирск, 2012. – 132 с.
8. Маслов А.А., Миронов С.Г. Динамика вязкого газа в примерах и задачах. /Новосиб. Гос. Университет, Новосибирск ,2010. – 76 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### 15. Информация о разработчиках

Зав. кафедрой физической и вычислительной механики, д.ф.-м.н., доцент Лобода Е.Л.

Профессор кафедры физической и вычислительной механики, д.ф.-м.н., ст.н.с., Матвиенко О.В.

Профессор кафедры физической и вычислительной механики, д.т.н., доцент, Якимов А.С.

Старший преподаватель Алексеенко Е.М.