

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФизМех

**АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**«Практикум по теории упругости»**

Разработчик	Высшая школа механики и процессов управления
Направление (специальность) подготовки	15.03.03 Прикладная механика
Наименование ООП	15.03.03_03 Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг
Квалификация (степень) выпускника	<b>бакалавр</b>
Образовательный стандарт	<b>СУОС</b>
Форма обучения	<b>Очная</b>

Руководитель ОП А.Н. Матвиенко

Соответствует СУОС  
Утверждена протоколом заседания  
высшей школы "ВШМиПУ"  
от «22» мая 2024 г. № 05-22

Аннотацию разработал:  
Ассистент А.Н. Матвиенко

## Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины - формирование у студента знаний и навыков в области постановки и решения задач теории упругости с использованием тензорного исчисления.

## Результаты обучения выпускника

Код	Результат обучения (компетенция) выпускника ООП
УК-2	<b>Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений</b>
ИД-1 УК-2	Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними
ИД-2 УК-2	Предлагает способы решения поставленных задач и ожидаемые результаты; оценивает предложенные способы с точки зрения соответствия цели проекта
ИД-3 УК-2	Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм
ИД-4 УК-2	Выполняет задачи в зоне своей ответственности в соответствии с запланированными результатами и точками контроля, при необходимости корректирует способы решения задач
ИД-5 УК-2	Представляет результаты проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования
УК-6	<b>Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни</b>
ИД-1 УК-6	Использует инструменты и методы управления временем при выполнении конкретных задач, проектов, при достижении поставленных целей
ПК-4	<b>Способен использовать при проведении научно-исследовательских работ современные вычислительные методы, высокопроизводительные вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии мирового уровня</b>
ИД-1 ПК-4	Использует при проведении научно-исследовательских работ современные вычислительные методы, высокопроизводительные вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии мирового уровня

## Планируемые результаты изучения дисциплины

### знания:

- Знает ключевые понятия и определения, этапы жизненного цикла проекта, роль команды и руководителя проекта
- Знает понятие ограничений проекта, перечень задач, план и бюджет проекта
- Знает на уровне понятий и определений образ результата
- Знает, как использовать инструменты и методы управления временем при выполнении конкретных задач, проектов, при достижении поставленных целей
- Знает основы системного подхода к решению поставленных задач
- Знает структуру и способы проведения презентации
- Физико-механические процессы и явления Информационные технологии, наукоемкие компьютерные технологии, расчетно-экспериментальные технологии, производственные технологии Материалы, в первую очередь новые, перспективные, многофункциональные и "интеллектуальные материалы"

### умения:

- Умеет формулировать цели и задачи проекта, определять основные этапы.
- Умеет разрабатывать план реализации проекта, разрабатывать бюджет проекта
- Умеет решать задачи заявленного качества в установленное время, при необходимости корректируя способы их решения
- Умеет определять приоритеты в выполнении конкретных задач, проектов, при достижении поставленных целей
- Умеет осуществлять поиск и анализ информации, умеет выполнить анализ альтернатив исходя из целей проекта
- Умеет подготовить и провести презентацию проекта

### навыки:

- Владеет способом представления образа результата проекта, приемами составления плана проекта
- Владеет навыками распределения времени для выполнения конкретных задач, проектов с учетом их приоритетности
- Владеет методами генерации идей
- Владеет навыками формулировки цели проекта и задач, обеспечивающих достижение цели проекта
- Владеет навыками оценки решения поставленных задач в соответствии с запланированными результатами контроля, корректировки способов решения задач
- Владеет приемами разработки и проведения презентации

## Виды учебной работы

Виды учебной работы	Трудоемкость по семестрам
	Очная форма
Практические занятия	86
Самостоятельная работа	118
Промежуточная аттестация (зачет)	8
Курсовое проектирование	4
<b>Общая трудоемкость освоения дисциплины</b>	216, ач
	6, зет

## Формы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля и промежуточной аттестации	Количество по семестрам
	Очная форма
<b>Текущий контроль</b>	
Курсовые проекты, шт.	1
<b>Промежуточная аттестация</b>	
Зачеты, шт.	2

## Содержание разделов и результаты изучения дисциплины

Раздел дисциплины	Содержание
<b>1. Основные соотношения векторной алгебры.</b>	Понятие вектора. Операции сложения векторов и умножения вектора на число. Векторное поле. Скалярное, векторное, смешанное и двойное векторное произведение векторов. Символ Леви - Чивиты.
<b>2. Основные понятия тензорного исчисления. Операции с тензорами второго ранга.</b>	Понятие тензора второго ранга. Операции сложения тензоров и умножения тензора на число. Тензорный базис. Умножение тензора на вектор. Тензор Леви-Чивиты. Тензора высших рангов.
<b>3. Оператор Гамильтона и оператор Лапласа. Дифференцирование тензоров.</b>	Оператор Гамильтона в декартовой системе координат. Применение оператора Гамильтона к произвольным тензорам, и к тензорам, в явном виде зависящим от координат радиуса вектора. Оператор Лапласа в декартовой системе координат. Представление оператора Лапласа через скалярное произведение операторов Гамильтона. Применение оператора Лапласа к произвольным тензорам, и к тензорам, в явном виде зависящим от координат радиуса вектора
<b>4. Представление тензора второго ранга в криволинейных системах координат.</b>	Цилиндрическая и сферическая система координат. Представление оператора Гамильтона в цилиндрической и сферической системах координат. Дериационные формулы. Применение оператора Гамильтона к произвольным тензорам, и к тензорам, в явном виде зависящим от координат радиуса вектора в цилиндрической системе координат.
<b>5. Кинематика деформируемого твердого тела. Эйлеров и Лагранжев подход к описанию движения твердого тела.</b>	Отсчетная и актуальная конфигурация. Линии тока и траектории частиц. Деформация сдвига. Вычисление градиента деформации. Вычисление тензора деформации Альманси. Выражение относительного удлинения отрезков и изменение объёма через компоненты тензора деформации Альманси.
<b>6. Поле скоростей деформаций. Материальная производная.</b>	Вычисление поля скоростей при материальном и пространственном описании движения. Нахождение скорости изменения температуры материальных точек при пространственном и материальном описании движения.
<b>7. Тензор напряжений. Представление тензора напряжений в главном базисе.</b>	Тензор напряжение. Нахождение распределения массовых сил из условия выполнения уравнения равновесия. Нахождение величин главных напряжений в заданной точке. Нахождение максимальных касательных напряжений.

<p><b>8. Полная система уравнений теории упругости.</b></p>	<p>Запись полной системы уравнений теории упругости. Запись кинематического соотношения в координатной форме (для декартовой и для цилиндрической систем координат).</p>
<p><b>9. Решение задачи теории упругости в перемещениях. Задача Ляме.</b></p>	<p>Задача Ляме: постановка. Применение симметрии для упрощения записи перемещений. Запись закона Гука в координатной форме (для цилиндрической системы координат). Запись основного уравнения динамики в координатной форме (для цилиндрической системы координат). Вывод дифференциального уравнения Эйлера. Нахождение общего решения. Постановка граничных условий. Нахождение констант, построение эпюр перемещений и напряжений.</p>
<p><b>10. Задача о вращающемся диске.</b></p>	<p>Задача о вращающемся диске: постановка. Применение симметрии для упрощения записи перемещений. Запись закона Гука в технических константах координатной форме (для цилиндрической системы координат). Вывод неоднородного дифференциального уравнения Эйлера. Нахождение общего и частного решений. Постановка граничных условий. Нахождение констант, построение эпюр перемещений и напряжений для случая сплошного и полого диска.</p>
<p><b>11. Задача о нагреве полой толстостенной сферы.</b></p>	<p>Задача о нагреве толстостенной сферы: постановка. Применение симметрии для упрощения записи перемещений. Запись кинематического соотношения, закона Гука и основного уравнения динамики в координатной форме (для сферической системы координат). Вывод дифференциального уравнения Эйлера. Нахождение общего решения для случая без температурного воздействия. Постановка граничных условий. Построение эпюр перемещений и напряжений. Нахождение частного решения для случая полярно-симметричного закона распределения температур. Нахождение констант, построение эпюр перемещений и напряжений.</p>
<p><b>12. Задача о деформировании упруго-вязкой сферы.</b></p>	<p>Задача о деформировании упруго-вязкой сферы: постановка. Нахождение девиатора тензора деформаций. Запись определяющего соотношения, соответствующего реологической модели Кельвина-Фойгта в координатной форме. Вывод дифференциального уравнения в частных производных. Осуществление преобразования Лапласа для основных соотношений теории упругости. Нахождение общего решения и произвольных постоянных. Взятие обратных преобразований Лапласа. Построение эпюр напряжений, наблюдение эффекта ползучести.</p>

<p><b>13. Решение задачи теории упругости в напряжениях.</b> <b>Задача о растяжении призматического стержня под действием собственного веса.</b></p>	<p>Задача о растяжении призматического стержня: постановка. Постановка граничных условий и решение основного уравнения динамики, нахождение напряжений. Проверка выполнения условия совместности деформаций. Постановка граничных условий на перемещения, нахождение перемещений построение деформированной формы стержня.</p>
<p><b>14. Решение задачи о кручении стержня треугольного сечения.</b></p>	<p>Задача о кручении стержней: постановка и общее решение. Проверка удовлетворения основным соотношениям задачи о кручении для произвольно заданной функции напряжений. Определение формы сечения стержня через удовлетворение граничным условиям для функции напряжений. Нахождение жесткости на кручение. Сравнение с жесткостью на кручение для круглого сечения. Нахождение касательных напряжений, определение точек, где достигаются максимальные касательные напряжения. Построение поверхности деформации.</p>
<p><b>15. Решение задачи о кручении стержня эллиптического сечения.</b></p>	<p>Задача о кручении стержня эллиптического сечения: постановка . Нахождение функции напряжений. Нахождение жесткости на кручение. Сравнение с жесткостью на кручение для круглого сечения. Нахождение касательных напряжений, определение точек, где достигаются максимальные касательные напряжения. Построение поверхности деформации.</p>
<p><b>16. Приближенное решение задачи о кручении стержня прямоугольного сечения.</b></p>	<p>Задача о кручении стержня прямоугольного сечения: постановка. Применение мембранной аналогии Прандл для решения задачи о кручении. Представление функции напряжений в виде разложения в ряд по гармоническим функциям. Нахождение функции напряжений. Нахождение жесткости на кручение. Нахождение касательных напряжений, определение точек, где достигаются максимальные касательные напряжения. Построение поверхности деформации.</p>
<p><b>17. Применение вариационных принципов к решению задач о кручении стержней.</b></p>	<p>Формулировка принципа минимума дополнительной работы для задачи о кручении стержня прямоугольного сечения. Применение метода Ритца для приближенного нахождения функции напряжений через удовлетворение принципу минимума дополнительной работы. Нахождение касательных напряжений, определение точек, где достигаются максимальные касательные напряжения. Построение поверхности деформации.</p>