

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 15.03.03 Прикладная механика

Наименование образовательной программы: Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ 2

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Вариативная
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.11.01.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецов С.Ф.
	Идентификатор	Rb27d2feb-Kuznetsov5F-e9466b63

(подпись)

С.Ф. Кузнецов

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

(подпись)

Е.В. Позняк

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883f

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: углубленное изучение фундаментального раздела механики деформируемого твердого тела – теории упругости, являющейся основой профессиональных компетенций, необходимых для инженерной и научной деятельности по направлению подготовки

Задачи дисциплины

- развитие знаний об основных свойствах решений задач теории упругости и закономерностях упругого деформирования элементов конструкций;
- ознакомление с неклассическими разделами теории упругости, наиболее широко используемыми в расчетной практике;
- изучение вариационных формулировок задач теории упругости;
- ознакомление с теоретическими основами численных методов решения задач теории упругости, реализованных в современных программных комплексах.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат		знать: - определения и физический смысл характеристик напряженно-деформированного состояния; - аксиоматический аппарат механики деформируемого твердого тела и теории упругости. уметь: - проводить анализ результатов определения напряженно-деформированного состояния.
ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности		знать: - математические постановки краевых задач, основные теоремы и принципы теории упругости. уметь: - применять аналитические методы для решения краевых задач теории упругости специальных классов; - формулировать трехмерные и плоские краевые задачи теории упругости, а также задачи свободного кручения для заданных расчетных схем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока дисциплин основной профессиональной образовательной программе Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры (далее – ОПОП), направления подготовки 15.03.03 Прикладная механика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы математического анализа, линейной алгебры, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, вариационного исчисления
- знать формулировки классических задач математической физики и методы их решения
- знать основы классической механики
- знать основы механики твердого деформируемого тела и механики материалов и конструкций
- уметь использовать аппарат математического анализа, линейной алгебры и методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений для решения задач частных классов
- уметь применять основные принципы классической механики и методы механики материалов и конструкций для расчетов простейших механических систем

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Введение в теорию тензоров	34.50	7	8	-	6	-	0.50	-	-	-	20	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в теорию тензоров"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 347-353 [2], стр. 304-313</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу "Основные теоремы классической теории упругости" и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 47-48, 60-63, 77- 80 [2], стр. 96-101</p> <p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Студентам необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения задач, провести расчеты по индивидуальному варианту задания и сделать выводы. В качестве тем задания применяются следующие: Математическая формулировка и решение задач свободного кручения стержней заданных поперечных сечений. Сопоставление характеристик прочности и жесткости стержней заданных поперечных сечений при свободном</p>
1.1	Основы теории тензоров	20.25		6	-	4	-	0.25	-	-	-	10	-	
1.2	Введение в анализ тензорных полей	14.25		2	-	2	-	0.25	-	-	-	10	-	
2	Основные теоремы классической теории упругости	16.25		4	-	2	-	0.25	-	-	-	10	-	
2.1	Основные теоремы классической теории упругости	16.25		4	-	2	-	0.25	-	-	-	10	-	
3	Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии	16.25		4	-	2	-	0.25	-	-	-	10	-	
3.1	Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии	16.25		4	-	2	-	0.25	-	-	-	10	-	

													кручении <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 43-47 [2], стр. 51-63
4	Вариационные принципы и методы теории упругости	42.50	16	-	6	-	0.50	-	-	-	20	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу "Вариационные принципы и методы теории упругости" и подготовка к контрольной работе <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 70-82 [2], стр. 77-96
4.1	Вариационные принципы линейной теории упругости	22.25	10	-	2	-	0.25	-	-	-	10	-	
4.2	Вариационный метод Рунге и численный метод конечных элементов	20.25	6	-	4	-	0.25	-	-	-	10	-	
	Экзамен	34.5	-	-	-	-	0.5	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.00	32	-	16	-	2.00	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.00	32	-	16		2.00		-	0.5		93.5	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение в теорию тензоров

1.1. Основы теории тензоров

Понятие метрического пространства. Метод координат. Системы координат. Евклидово пространство. Декартова система координат. Преобразования систем координат. Геометрическое понятие вектора. Векторный координатный базис. Тензорный координатный базис. Определения тензора. Алгебра тензоров. Символы Кронекера и Леви-Чивиты. Инварианты тензоров.

1.2. Введение в анализ тензорных полей

Понятие тензорного поля. Дифференцирование тензорных полей. Интегральные теоремы. Вывод соотношений теории упругости на основе интегральных теорем.

2. Основные теоремы классической теории упругости

2.1. Основные теоремы классической теории упругости

Плотность потенциальной энергии упругой деформации. Формула Грина. Плотность дополнительной энергии упругой деформации. Формула Кастильяно. Закон сохранения энергии для идеально упругого тела. Теорема Кирхгофа о единственности решения. Теорема Клапейрона. Тождества Бетти и Сомильяны.

3. Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии

3.1. Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии

Обобщенный закон Гука. Тензор коэффициентов упругости. Общая упругая анизотропия. Частные случаи упругой анизотропии. Ортогонально анизотропное (ортотропное) тело. Трансверсально изотропное тело. Технические упругие постоянные в частных случаях упругой анизотропии.

4. Вариационные принципы и методы теории упругости

4.1. Вариационные принципы линейной теории упругости

Интегральное условие равновесия. Статически допустимые и кинематически допустимые состояния. Принцип виртуальных перемещений. Потенциальные внешние воздействия. Вариационный принцип Лагранжа. Принцип виртуальных напряжений. Вариационный принцип Кастильяно. Понятие об обобщенных вариационных принципах. Вариационный принцип Рейснера.

4.2. Вариационный метод Ритца и численный метод конечных элементов

Вариационный метод Ритца. МКЭ на основе вариационного принципа Лагранжа (метод перемещений). Условия сходимости. Факторы, влияющие на скорость сходимости. Априорные и апостериорные оценки погрешности решения. МКЭ на основе вариационного принципа Кастильяно (метод напряжений). Гибридные формулировки МКЭ.

3.3. Темы практических занятий

1. Основные теоремы теории упругости;
2. Применение метода Ритца для решения задачи свободного кручения;
3. Вариационные принципы теории упругости;
4. Напряженно-деформированное состояние элементов конструкций из анизотропных

материалов;
5. Алгебра и анализ тензоров.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в теорию тензоров"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные теоремы классической теории упругости"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Вариационные принципы и методы теории упругости"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
аксиоматический аппарат механики деформируемого твердого тела и теории упругости	ПК-1(Компетенция)	+	+			Тестирование/Введение в теорию тензоров Контрольная работа/Основные теоремы классической теории упругости
определения и физический смысл характеристик напряженно-деформированного состояния	ПК-1(Компетенция)			+		Расчетно-графическая работа/Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии
математические постановки краевых задач, основные теоремы и принципы теории упругости	ПК-2(Компетенция)		+			Контрольная работа/Основные теоремы классической теории упругости
Уметь:						
проводить анализ результатов определения напряженно-деформированного состояния	ПК-1(Компетенция)			+	+	Расчетно-графическая работа/Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии
формулировать трехмерные и плоские краевые задачи теории упругости, а также задачи свободного кручения для заданных расчетных схем	ПК-2(Компетенция)				+	Контрольная работа/Вариационные принципы теории упругости
применять аналитические методы для решения краевых задач теории упругости специальных классов	ПК-2(Компетенция)				+	Контрольная работа/Вариационные принципы теории упругости

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Вариационные принципы теории упругости (Контрольная работа)
2. Введение в теорию тензоров (Тестирование)
3. Основные теоремы классической теории упругости (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

При выставлении итоговой оценки по дисциплине учитываются баллы по промежуточной аттестации и по текущей успеваемости в соответствии с действующим Положением о проведении промежуточной аттестации НИУ "МЭИ"

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, Д. В. Тарлаковский- "Теория упругости и пластичности", Издательство: "Физматлит", Москва, 2002 - (417 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76683>;
2. Хан, Х. Теория упругости: Основы линейной теории и ее применения : пер. с нем. / Х. Хан . – М. : Мир, 1988 . – 344 с..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Майнд Видеоконференции;
4. Acrobat Reader;
5. Scilab;
6. Libre Office.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-411, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-411, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Б-400, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Б-110/3, Кабинет сотрудников каф. "РМДиПМ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-06а, Учебная лаборатория	стеллаж для хранения книг

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Теория упругости 2

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Введение в теорию тензоров (Тестирование)

КМ-2 Основные теоремы классической теории упругости (Контрольная работа)

КМ-3 Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии (Расчетно-графическая работа)

КМ-4 Вариационные принципы теории упругости (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Введение в теорию тензоров					
1.1	Основы теории тензоров		+	+		
1.2	Введение в анализ тензорных полей		+	+		
2	Основные теоремы классической теории упругости					
2.1	Основные теоремы классической теории упругости		+	+		
3	Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии					
3.1	Уравнения состояния в частных случаях упругой анизотропии				+	
4	Вариационные принципы и методы теории упругости					
4.1	Вариационные принципы линейной теории упругости					+
4.2	Вариационный метод Ритца и численный метод конечных элементов				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25