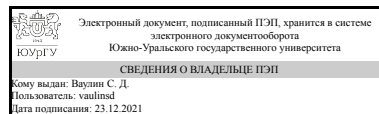


УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
Политехнический институт



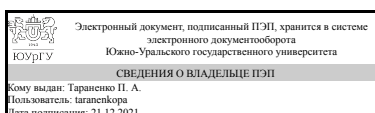
С. Д. Ваулин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины ДВ.1.09.02 Нелинейная теория упругости
для направления 15.03.03 Прикладная механика
уровень бакалавр тип программы Академический бакалавриат
профиль подготовки Прикладная механика, динамика и прочность машин
форма обучения очная
кафедра-разработчик Техническая механика

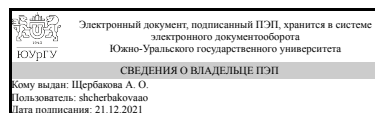
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.03.2015 № 220

Зав.кафедрой разработчика,
к.техн.н., доц.



П. А. Тараненко

Разработчик программы,
к.техн.н., доц., доцент



А. О. Щербакова

1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения данной дисциплины является формирование у студентов системы знаний, навыков и умений по дисциплине "Теория упругости". Для достижения поставленной цели в курсе решаются следующие задачи: 1. Освоение тензорного аппарата на уровне, достаточном для изучения дисциплины; 2. Изучение тензорных мер напряженно-деформированного состояния упругой среды, закона линейной упругости; 3. Освоение основных уравнений, принципов и методов теории упругости и применение их для случая сложного напряженно-деформированного состояния; 4. Ознакомление с классическими задачами теории упругости; 5. Изучение метода конечных элементов применительно к решению плоской задачи теории упругости.

Краткое содержание дисциплины

Курс теории упругости включает в себя следующие разделы: 1. Основы тензорной алгебры. 2. Тензорные меры напряженно-деформированного состояния упругой среды. 3. Основы тензорного анализа. 4. Анализ напряжений и деформаций при неоднородном напряженно-деформированном состоянии. 5. Классические задачи теории упругости. 6. Особенности решения плоских задач теории упругости. 7. Метод конечных элементов как вариационный метод

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию	Знать: важность самоорганизации и самообразования, исходя из целей совершенствования профессиональной деятельности
	Уметь: оценивать роль новых знаний, навыков и компетенций в образовательной и профессиональной деятельности
	Владеть: навыками познавательной и учебной деятельности, поиска методов решения практических задач, применения различных методов познания, формами и методами самообучения и самоконтроля
ПК-1 способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Знать: тензорный аппарат, используемый в механике твердого тела, тензорные меры напряженно-деформированного состояния, основные уравнения, законы и принципы теории упругости
	Уметь: решать задачи теории упругости, привлекая для их решения тензорный аппарат
	Владеть: способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения тензорный аппарат, методы, законы и принципы теории упругости
ПК-2 способностью применять физико-	Знать: основные уравнения, законы и методы

математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	теории упругости; различные формы записи тензорных соотношений; тензорный аппарат, необходимый для представления основных уравнений теории упругости
	Уметь: привлекать тензорный аппарат для решения научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности
	Владеть: тензорным аппаратом на уровне, необходимом для решения задач теории упругости

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Б.1.05.02 Математический анализ, Б.1.13 Сопротивление материалов, Б.1.05.01 Алгебра и геометрия	ДВ.1.05.01 Устойчивость механических систем, В.1.16 Основы автоматизированного проектирования, В.1.06 Численные методы технической механики, Б.1.17 Строительная механика оболочек, Производственная практика, преддипломная практика (8 семестр)

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Б.1.13 Сопротивление материалов	Студент должен знать основы напряженно-деформированного состояния в точке стержня, понятия напряжения и деформации, знать обобщенный закон Гука; уметь находить главные напряжения и деформации, записывать уравнения равновесия и условия совместности деформаций; иметь навыки решения задач анализа напряженно-деформированного состояния.
Б.1.05.01 Алгебра и геометрия	Студент должен знать понятия скаляра, вектора, линейного и евклидова пространства, базиса и размерности пространства; уметь представлять векторы графически; владеть координатной и матричной формой представления векторов; иметь навыки выполнения скалярного и векторного произведения векторов
Б.1.05.02 Математический анализ	Студент должен знать понятия дифференциала, производной, оператора Гамильтона, градиента, дивергенции и ротора, геометрическое представление интегрирования нелинейной функции на заданном отрезке, теорему Остроградского-Гаусса, уметь дифференцировать сложные функции, а также их произведения, интегрировать по частям.

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	6
Общая трудоёмкость дисциплины	180	72	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	80	32	48
Лекции (Л)	32	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	48	16	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	100	40	60
Подготовка к контрольным работам №1-3	15	15	0
Подготовка к контрольным работам №4, 5	20	0	20
Выполнение домашних заданий №1-3	15	15	0
Подготовка к зачету	5	5	0
Выполнение домашних заданий №5, 6	20	0	20
Подготовка к экзамену	20	0	20
Работа с контрольными тестами №1-3	5	5	0
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Часть 1	32	16	16	0
2	Часть 2	48	16	32	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Линейное пространство. Скаляры и векторы в линейном пространстве. Тензорное произведение. Полиада. Тензоры. Координаты тензора. Преобразование координат при смене базиса	2
2	1	Евклидово пространство. Скалярное произведение векторов. Скалярное произведение тензоров. Скалярная свертка. Декартов базис. Собственные числа тензора	2
3	1	Евклидово пространство. Векторное произведение. Векторное свертывание. Тензор как линейный оператор. Полярные и цилиндрические координаты. Инвариантные числа двухвалентного тензора	2
4	1	Закон Гука для изотропного линейно упругого тела. Формы записи закона Гука. Идентификация констант модели	2
5	1	Тензорное дифференцирование. Понятие поля. Направленная производная. Градиент скалярного поля. Градиент тензорного поля. Оператор Гамильтона. Дивергенция и ротор. Дифференцирование произведения функций.	2

		Двукратное дифференцирование	
6	1	Интегрирование в тензорном поле. Интегрирование по линии. Интегрирование по поверхности и по объему. Теорема Остроградского – Гаусса. Теорема Стокса. Формулы Грина. Интегрирование по частям	2
7	1	Дифференциальное уравнение равновесия. Уравнение Коши и условие совместности деформаций	2
8	1	Полная система уравнений теории упругости. Закон сохранения энергии и принцип возможных перемещений. Разрешающие уравнения теории упругости в напряжениях и в перемещениях; принципы симметрии и суперпозиции	2
9	2	Задача о сфере под действием внутреннего и наружного давления. Задача Лямэ	2
10	2	Задача Кельвина. Задача Буссинеска	2
11	2	Задача Герца	2
12	2	Особенности записи основных уравнений теории упругости в случае двумерной задачи	2
13	2	Метод полиномов	2
14	2	Задача Кирша	2
15	2	Основы вариационных принципов в механике	2
16	2	Основы метода конечных элементов	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Тензоры в линейном пространстве	2
2	1	Тензоры в евклидовом пространстве	2
3	1	Тензорные меры напряженно-деформированного состояния упругой среды	2
4	1	Закон Гука для линейно упругого тела	2
5	1	Тензорное дифференцирование	2
6	1	Интегрирование в тензорном поле	2
7	1	Дифференциальное уравнение равновесия. Уравнение Коши и условие совместности деформаций	2
8	1	Закон сохранения энергии и принцип возможных перемещений. Разрешающие уравнения теории упругости в напряжениях и в перемещениях; принципы симметрии и суперпозиции	2
9	2	Задача о сферическом включении	2
10	2	Задача о цилиндрическом включении	2
11	2	Задача Кельвина	2
12	2	Задача Буссинеска	2
13	2	Задача Герца	2
14	2	Задача о сфере под действием внутреннего и наружного давления	2
15	2	Задача Лямэ	2
16, 17	2	Особенности записи основных уравнений теории упругости в случае двумерной задачи	4
18	2	Метод полиномов	2
19	2	Задача Кирша	2
21, 22	2	Метод конечных элементов на примере задачи об упругой ферме	4
21	2	Основы вариационных принципов в механике	2
23, 24	2	Метод конечных элементов на примере плоской конструкции	4

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к зачету	Основная литература [1, 2], дополнительная литература [1, 2], электронные учебники	5
Подготовка к контрольным работам №1-5	Основная литература [1, 2], методические пособия [1, 2], электронные учебники	35
Подготовка к экзамену	Основная литература [1, 2], дополнительная литература [1, 2], электронные учебники	20
Выполнение домашних заданий №1-5	Основная литература [1, 2], дополнительная литература [1, 2], методические пособия [1, 2], электронные учебники	35
Работа с контрольными тестами №1-3	Основная литература [1, 2], методические пособия [1, 2], электронные учебники	5

6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Интерактивные лекции	Лекции	Лекция проводится в форме вопрос - ответ. При этом активизируется мыслительная деятельность студентов и повышается способность понимать и запоминать пройденный материал	32

Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: нет

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНЫ	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	------------

Часть 1	ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию	Зачет	Билеты к зачету №1-№10
Часть 1	ПК-1 способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Зачет	Билеты к зачету №1-№10
Часть 1	ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Зачет	Билеты к зачету №1-№10
Часть 2	ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию	Экзамен	Билеты к экзамену №1-№10
Часть 2	ПК-1 способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Экзамен	Билеты к экзамену №1-№10
Часть 2	ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Экзамен	Билеты к экзамену №1-№10
Все разделы	ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию	Проверка правильности решения домашних задач	Задания №1-5
Все разделы	ПК-1 способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Проверка правильности решения домашних задач	Задания №1-5
Все разделы	ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Проверка правильности решения домашних задач	Задания №1-5
Часть 1	ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию	Проверка тестов №1-3	Тестовые задания в электронном ЮУрГУ
Часть 1	ПК-1 способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Проверка тестов №1-3	Тестовые задания в электронном ЮУрГУ

Часть 1	ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Проверка тестов №1-3	Тестовые задания в электронном ЮУрГУ
Все разделы	ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию	Проверка правильности выполнения контрольных работ №1-5	Задания КР №1-5
Все разделы	ПК-1 способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Проверка правильности выполнения контрольных работ №1-5	Задания КР №1-5
Все разделы	ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Проверка правильности выполнения контрольных работ №1-5	Задания КР №1-5

7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Зачет	Зачет проводится письменно по билетам. Билет содержит 5 вопросов. Длительность - 1 час. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Шкала оценивания: 90 - 100 баллов - даны верные и полные ответы на все вопросы; 75 - 89 баллов - в ответах допущены незначительные ошибки; 60-74 - ответы неполные, допущены грубые ошибки; 0-59 баллов - как минимум на один вопрос отсутствует ответ. Максимальное количество баллов по контрольному мероприятию: 100 баллов. Зачет автоматом может быть поставлен по результатам текущего рейтинга RTEK ДО НАЧАЛА зачетной недели	Зачтено: число верных ответов (на задания билета и на дополнительные вопросы) от 60% и выше Не зачтено: число верных ответов (на задания билета и на дополнительные вопросы) менее 60%
Экзамен	Итоговый рейтинг Rd по дисциплине складывается из баллов текущего рейтинга RTEK (осредненных по результатам работы в 2х семестрах) и промежуточной аттестации РПА (экзамена) по формуле $Rd = 0,6 \cdot RTEK + 0,4 \cdot RPA$. Экзаменационная оценка автоматом ставится по результатам текущего рейтинга, набранного до начала зачетной недели. Экзамен РПА проходит в виде письменного ответа по билетам. Билет содержит 2 теоретических вопроса и 1 задачу; время на ответ - 1 час.	Отлично: рейтинг студента выше 90% Хорошо: рейтинг студента от 75% до 90% Удовлетворительно: рейтинг студента от 60% до 75% Неудовлетворительно: рейтинг студента менее 60%

	Учитываются ответы на дополнительные вопросы Шкала оценивания результатов ответа по экзаменационному билету: 90 - 100 баллов - даны верные и полные ответы на все вопросы; 75 - 89 баллов - в ответах допущены незначительные ошибки; 60-74 - ответы неполные, допущены грубые ошибки; 0-59 баллов - как минимум на один вопрос отсутствует ответ. Максимальное количество баллов по контрольному мероприятию: 100 баллов.	
Проверка правильности решения домашних задач	Задания №1-5 выполняются студентом дома в срок, установленный преподавателем. Критерии оценивания: 1) качество решения задач; 2) качество оформления решения. Максимальное количество баллов по контрольному мероприятию в осеннем семестре - 5 баллов, в весеннем семестре - 10 баллов	Отлично: 90% - 100% - задачи решены верно, оформление четкое и аккуратное Хорошо: 75% - 89%- задачи решены с незначительными ошибками, оформление местами небрежное Удовлетворительно: 60% - 74% - задачи решены с грубыми ошибками, оформление небрежное Неудовлетворительно: 0 - 59 % - задачи не решены или решение не оформлено
Проверка тестов №1-3	Тесты №1А, №1Б и №2 необходимо пройти в личном кабинете вне сетки расписания в установленные сроки. Для успешного прохождения теста необходимо набрать не менее 60% верных ответов. В Тестах №3А и №3Б необходимо составить тестовые вопросы (3 вопроса) с 5 вариантами ответов по теме "Тензорный анализ"	Отлично: 90 - 100 % верных ответов Хорошо: 75 - 89 % верных ответов Удовлетворительно: 60 - 74 % верных ответов Неудовлетворительно: менее 60 % верных ответов
Проверка правильности выполнения контрольных работ №1-5	Контрольные работы проводятся письменно на практических занятиях. Длительность - 1,5 часа. Максимальный балл за контрольную работу в осеннем семестре составляет 5 баллов, в весеннем - 1- баллов. Результат получается в процентном соотношении от максимального балла	Отлично: 90 - 100 % верных ответов Хорошо: 75 - 89 % верных ответов Удовлетворительно: 60 - 74 % верных ответов Неудовлетворительно: менее 60% верных ответов

7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
Зачет	1) Перечислите основные допущения, принятые в теории однородного напряженно-деформированного состояния? 2) Что называется тензором напряжений Коши? 3) Что означает однородность напряженного состояния? 4) Что представляют собой координаты тензора напряжений? столбцы матрицы тензора деформации? Вопросы к зачету.doc
Экзамен	1) Каковы основные допущения, принятые в теории упругости? 2) Как записывают дифференциальное уравнение равновесия в тензорной, индексной, координатной и матричной форме?

	<p>3) Откуда следует симметрия тензора напряжений?</p> <p>4) Каким образом записывают граничные условия (все формы записи)?</p> <p>5) Как формулируется уравнение Коши (все формы записи)?</p> <p>6) Какой физический смысл имеет скалярная свертка градиента поля перемещений?</p> <p>7) Какие деформации тела называют совместными?</p> <p>8) Откуда следует условие совместности деформаций?</p> <p>Вопросы к экзамену.doc</p>
Проверка правильности решения домашних задач	<p>1) Доказать, что скалярная свертка двухвалентного тензора равна скалярной свертке его симметричной составляющей;</p> <p>2) Зная поле напряжений, определить объемные и поверхностные силы, действующие на заданное тело;</p> <p>3) Выполнить проверку совместности деформаций.</p>
Проверка тестов №1-3	<p>1) Что представляет собой тензор деформации?</p> <p>2) Какова инвариантная форма записи закона Гука для линейно-упругого тела?</p> <p>3) Как вычисляют потенциальную энергию упругой деформации?</p>
Проверка правильности выполнения контрольных работ №1-5	<p>1. Докажите, что скалярная свертка кососимметричного тензора равна нулю</p> <p>2. Найдите главные значения и направления тензора напряжений</p> <p>3. Чему равен градиент поля радиус-векторов?</p>

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Тимошенко, С. П. Теория упругости Пер. с англ. М. И. Рейтмана; Под ред. Г. С. Шапиро. - 2-е изд. - М.: Наука, 1979. - 560 с. ил.
2. Демидов, С. П. Теория упругости Учеб. для вузов по спец. "Динамика и прочность машин". - М.: Высшая школа, 1979. - 432 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Лурье, А. И. Теория упругости [Текст] А. И. Лурье. - М.: Наука, 1970. - 939 с. черт.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика Т. 7 Теория упругости Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов. - 4-е изд., испр. и доп. - М.: Наука, 1987. - 246 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Вестник ЮУрГУ. Серия "Математика. Механика. Физика"

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Садаков О.С. Основы тензорного анализа (применительно к теории упругости). – Челябинск: ЧПИ, 1981. – 92 с.
2. Апайчев М.В. и др. Основные понятия и простейшие задачи теории упругости. Учебное пособие. – Челябинск: ЧГТУ, 1992. – 64 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.7 Теория упругости. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2007. — 264 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/2233
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Сапунов, В.Т. Задачи прикладной теории упругости: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — М. : НИЯУ МИФИ, 2011. — 208 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/75913

9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

1. PTC-MathCAD(бессрочно)

Перечень используемых информационных справочных систем:

Нет

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	334 (2)	Компьютеры с предустановленным программным обеспечением
Лекции	319 (2)	Компьютер, проектор, экран