

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

(подпись) Василенко В.Н.
(Ф.И.О.)

"_25_" __05__2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Теория упругости

Направление подготовки

15.03.03 Прикладная механика

Направленность (профиль) подготовки

**Проектирование и конструирование
механических конструкций, систем и агрегатов**

Квалификация выпускника

Бакалавр

Воронеж

1. Цели и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины «Теория упругости» - развитие и формирование практических навыков у студентов в решении задач прочности, рациональной оптимизации и надежности машин, конструкций, сооружений и их элементов, составляющих основу современной техники, и как следствие этого, подготовка студентов к успешному изучению других технических дисциплин по профилю избранной специальности.

Задачи дисциплины:

проектно-конструкторская деятельность:

- участие в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности;
- обеспечения надёжности узлов и деталей машин методами технической диагностики и неразрушающего контроля

Объектами профессиональной деятельности являются: машины, конструкции, оборудование, приборы и аппаратура и многие другие объекты современной техники, различных отраслей промышленности, транспорта и строительства, для которых проблемы и задачи прикладной механики являются основными и актуальными и которые для изучения и решения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики.

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика» (уровень образования - бакалавр).

2. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции	В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:		
			Знать	Уметь	Владеть
1	ПК-2	способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования	применять физико-математический аппарат в процессе профессиональной деятельности	расчетными и экспериментальными методами исследований, методами математического и компьютерного моделирования
2	ПК-7	Готовность выполнять НИР и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических	широко используемые в промышленности наукоемкие компьютерные технологии применительно к решению задач теории упругости	использовать экспериментальное оборудование	методиками расчета конструкций с учетом работы на упругость

3	ПК-8	готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространенных в промышленности систем мирового уровня	методики проведения экспериментальных работ в области прикладной механики	выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов	вычислительными методами, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространенных в промышленности систем мирового уровня
4	ПК-12	Готовность участвовать в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин	классические и технические теории и методы математического и компьютерного моделирования динамики машин, приборов, конструкций	строить математические модели для анализа динамических свойств объектов и выбирать численные методы их моделирования	теоретическими и расчетными методами в области динамических расчетов машин и сооружений
5	ПК-14	способностью выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов	методики проведения экспериментальных работ в области прикладной механики	выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием оптимизации технологических процессов	многовариантным анализом характеристик конкретных объектов
6	ПК-15	готовностью участвовать во внедрении технологических процессов наукоемкого производства, контроля качества материалов, процессов повышения надежности и износостойкости элементов и узлов машин и установок, механических систем различного	систему обеспечения качества материалов, поступающих на производство	разрабатывать технологические процессы наукоемкого производства	внедрять новые прогрессивные технологические процессы

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Курс дисциплины вариативной части **«Теория упругости»** базируется на знаниях, умениях и компетенциях, сформированных при изучении предшествующих дисциплин:

"Сопротивление материалов", "Теоретическая механика", "Аналитическая динамика и теория колебаний", "Теория механизмов и основы робототехники", "Учебная практика, практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности", "Производственная практика, практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности", "Производственная технологиче-

ская практика".

Дисциплина «Теория упругости» является предшествующей для дисциплин: "Основы устойчивости механических систем", "Численные методы в механике", "Программные средства инженерного анализа", "Основы компьютерного инжиниринга", "Производственная преддипломная практика", "Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты".

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единицы.

Виды учебной работы	Всего академических часов, акад. час	Распределение трудоемкости по семестрам акад. час	
		5 семестр	6 семестр
Общая трудоемкость дисциплины (модуля)	252	108	144
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	116,6	61,6	55
Лекции	48	30	18
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	48	30	18
Практические занятия (ПЗ)	66	30	36
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	66	30	36
Консультации текущие	2,4	1,5	0,9
Виды аттестации (зачет)	0,2	0,1	0,1
Самостоятельная работа:	135,4	46,4	89
<i>Проработка материалов по конспектам лекций</i>	32	15	17
<i>Проработка материала дисциплины по учебникам</i>	52,4	16,4	36
<i>Подготовка к практическим занятиям</i>	51	15	36

5 Содержание дисциплины

5.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, часы
5 семестр			
1	Напряженно-деформированное состояние в точке	Нагрузки и напряжения. Определение напряжений в площадке общего положения Тензор напряжений. Главные напряжения. Касательные напряжения. Шаровой тензор и девиатор напряжений. Инварианты напряженного состояния. Перемещения и деформации в точке тела. Тензор деформации. Главные деформации. Шаровой тензор деформаций и девиатор деформаций.	33
2	Основные уравнения теории упругости	Статические, геометрические и физические уравнения теории упругости. Уравнения совместности деформаций. Понятие о методе напряжений и методе перемещений.	22
3	Плоская задача напряженного состояния	План решения задачи. Дифференциальные уравнения равновесия Условия на контуре. Геометрическая и физическая сторона задачи. Уравнение совместности. Функция напряжений. Решение плоской задачи в полиномах. Решение плоской задачи в полярных координатах.	29
4	Пространственная задача напряженного состояния.	Решение пространственной задачи в напряжениях и перемещениях. План решения пространственной задачи на примере чистого изгиба призматического бруса. Цилиндрические координаты. Пример решения задачи. Сосредоточенная сила, приложенная внутри упругого пространства. Задача Буссинеска.	24

6 семестр			
5	Вариационная формулировка задач теории упругости	Основы вариационного исчисления. Энергия деформируемого тела как функционал. Вариационный принцип Лагранжа. Метод Ритца. Принцип Кастильяно.	26
6	Изгиб тонких пластин	Перемещения, деформации и напряжения в пластинах при изгибе. Дифференциальное уравнение изгиба пластины. Внутренние усилия в пластинах при изгибе. Дифференциальные соотношения. Расчет пластин на прочность.	34
7	Основы теории оболочек	Деформации, напряжения и внутренние усилия в тонких оболочках. Пологие оболочки. Деформации, уравнения равновесия, разрешающая система уравнений и потенциальная энергия для пологих оболочек. Безмоментное осесимметричное напряженное состояние оболочек вращения.	45
8	Численные методы решения задач теории упругости	Метод конечных разностей и его применение при решении плоской задачи. Метод конечных элементов. Построение матрицы жесткости конечного элемента. Общая процедура расчета по МКЭ.	39

5.2 Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, час	ПЗ (или С), час	СРО, час
5 семестр				
1	Напряженно-деформированное состояние в точке	8	10	13,4
2	Основные уравнения теории упругости	7	5	10
3	Плоская задача напряженного состояния	8	8	13
4	Пространственная задача напряженного состояния	7	7	10
6 семестр				
5	Вариационная формулировка задач теории упругости	4	6	15
6	Изгиб тонких пластин	5	8	21
7	Основы теории оболочек	5	12	28
8	Численные методы решения задач теории упругости	4	10	25

5.2.1 Лекции

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика лекционных занятий	Трудоемкость, час
5 семестр			

1	Напряженно- деформированное состояние в точке	Нагрузки и напряжения. Определение напряжений в площадке общего положения Тензор напряжений. Главные напряжения. Касательные напряжения. Шаровой тензор и девиатор напряжений. Инварианты напряженного состояния. Перемещения и деформации в точке тела. Тензор деформации. Главные деформации. Шаровой тензор деформаций и девиатор деформаций	8
2	Основные уравнения теории упругости	Статические, геометрические и физические уравнения теории упругости. Уравнения совместности деформаций. Понятие о методе напряжений и методе перемещений. Три группы основных уравнений. Уравнения равновесия элементов тела (статические уравнения). Геометрические уравнения. Уравнения совместности деформаций. Физические уравнения теории упругости. Примеры использования уравнений теории упругости при решении некоторых элементарных задач. Понятие о методе напряжений и методе перемещений. Принцип Сен-Венана.	7
3	Плоская задача напряженного состояния	План решения задачи. Статическая сторона задачи. Дифференциальные уравнения равновесия. Напряжения по наклонным площадкам. Главные напряжения. Условия на контуре. Геометрическая и физическая сторона задачи. Уравнение совместности. Функция напряжений. Решение плоской задачи в полиномах. Решение плоской задачи в полярных координатах.	8
4	Пространственная задача напряженного состояния.	Решение пространственной задачи в напряжениях и перемещениях. План решения пространственной задачи на примере чистого изгиба призматического бруса. Цилиндрические координаты. Примеры решения задачи. Сосредоточенная сила, приложенная внутри упругого пространства. Задача Буссинеска.	7
6 семестр			
5	Вариационная формулировка задач теории упругости	Основы вариационного исчисления. Понятие о функционале и его экстремальных. Энергия деформируемого тела как функционал. Вариационный принцип Лагранжа. Связь между вариационной и дифференциальной формулировками задач теории упругости. Метод Ритца. Принцип Кастильяно. Применение принципа Кастильяно для приближенного решения задач теории упругости.	4
6	Изгиб тонких пластин	Основные понятия и гипотезы. Перемещения и деформации в пластине при изгибе. Напряжения в пластинах при изгибе. Дифференциальное уравнение изгиба пластины. Внутренние усилия в пластинах при изгибе. Дифференциальные соотношения. Граничные условия на контуре пластины. Наибольшие напряжения в пластинах. Расчет пластин на прочность.	5

7	Основы теории оболочек	Основные определения и гипотезы. Деформации, напряжения и внутренние усилия в тонких оболочках. Пологие оболочки. Деформации пологой оболочки. Уравнения равновесия пологой оболочки. Разрешающая система уравнений пологой оболочки. Граничные условия. Потенциальная энергия пологой оболочки. Безмоментное осесимметричное напряженное состояние оболочек вращения.	5
8	Численные методы решения задач теории упругости	Метод конечных разностей и его применение при решении плоской задачи. Метод конечных элементов. Построение матрицы жесткости конечного элемента. Общая процедура расчета по МКЭ.	4

5.2.2 Практические занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Практические занятия	Трудоемкость, час
5 семестр			
1	Напряженно-деформированное состояние в точке	Линейное напряженное состояние. Прямая задача плоского напряженного состояния. Обратная задача плоского напряженного состояния. Объемное напряженное состояние. 3 круга Мора. Деформированное состояние в точке.	10
2	Основные уравнения теории упругости	Использование уравнений теории упругости при решении задач. Основы матричного метода определения перемещений.	5
3	Плоская задача напряженного состояния	Напряжения и деформации при изгибе консоли. Изгиб балки равномерно распределенной нагрузкой. Метод конечных разностей. Задача Лямэ. Чистый изгиб кривого бруса. Изгиб кривого бруса силой, приложенной на конце. Растяжение пластины с круговым отверстием (задача Кирша).	8
4	Пространственная задача напряженного состояния.	Кручение бруса круглого поперечного сечения. Общий случай кручения призматического некруглого бруса. Цилиндрические координаты: решение задач при симметричном распределении напряжений. Расчет балок на упругом основании.	7
6 семестр			
5	Вариационная формулировка задач теории упругости	Определение экстремалей у функционалов. Определение потенциальной энергии упругой деформации. Определение прогибов методом Ритца. Применение принципа Кастильяно к решению задач.	6
6	Изгиб тонких пластин	Расчет эллиптической пластины. Чистый изгиб прямоугольной пластины. Расчет круглых пластин.	8
7	Основы теории оболочек	Расчет цилиндрических, конических и сферических оболочек	12
8	Численные методы решения задач теории упругости	Применение МКП в задачах изгиба пластин. Вариационно-разностный метод. Метод Бубнова-Галеркина. Метод Канторовича-Власова.	10

5.2.3 Лабораторный практикум не предусмотрен

5.2.4 Самостоятельная работа обучающихся (СРО)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вид СРО	Трудоемкость, Час
5 семестр			

1	Напряженно- деформированное состояние в точке	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	13,4
2	Основные уравнения теории упругости	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	10
3	Плоская задача напряженного состояния	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	13
4	Пространственная задача напряженного состояния	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	10
6 семестр			
5	Вариационная формулировка задач теории упругости	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	15
6	Изгиб тонких пластин	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	21
7	Основы теории оболочек	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	28
8	Численные методы решения задач теории упругости	Проработка материалов по конспектам лекций: Проработка материала дисциплины по учебникам: Подготовка к практическим занятиям	25

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

6.1 Основная литература

1. Ханефт, А. В. Механика сплошных сред : учебное пособие : [16+] / А. В. Ханефт ; Кемеровский государственный университет. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. – Ч. 2. Теория упругости. – 104 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495214> (дата обращения: 15.09.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8353-2284-8. – Текст : электронный.
2. Физика конденсированного состояния: дефекты строения в металлах : [16+] / А. Н. Чуканов, Н. Н. Сергеев, А. Е. Гвоздев и др. ; под ред. А. Н. Чуканова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 298 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617598> (дата обращения: 15.09.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9729-0703-8. – Текст : электронный.
3. Плохов, А. В. Физические и механические свойства материалов : учебник : [16+] / А. В. Плохов, А. И. Попелюх, Н. В. Плотникова ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. – 342 с. : ил., табл. – (Учебники НГТУ). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575603> (дата обращения: 15.09.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3547-2. – Текст : электронный.
4. Присекин, В. Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел : учебник / В. Л. Присекин, Г. И. Расторгуев ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2009. – 240 с. : табл., ил. – (Учебники НГТУ). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436040> (дата обращения: 15.09.2021). – Библиогр.: с. 232. – ISBN 978-5-7782-1287-9. – Текст : электронный.

6.2 Дополнительная литература

1. Кац А.М. Теория упругости. - СПб.: Лань, 2002.
2. Васильев В.З. Основы и некоторые специальные задачи теории упругости. М.: УМЦ ЖДТ, 2012. - Режим доступа: <http://www.knigafund.ru>.
3. Соломонов Ю.С., Георгиевский В.П., Недбай А.Я., Андришин В.А. Методы расчета цилиндрических оболочек из композиционных материалов. – Физматлит, 2009. - Режим доступа: <http://www.knigafund.ru>.
4. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Соппротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. - М.: АСВ, 1995. - 568с.
5. Александров А.В. Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. – М.: Высш. шк., 1990. — 400 с.
6. Безухов Н.И. Сборник задач по теории упругости и пластичности. - М.: ГИТТЛ, 1957. - 287с.
7. Рекач В..Г. Руководство к решению задач прикладной теории упругости. - М.: Высшая школа, 1984. -241с.

6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

Матвеева, Е. В. Методические указания к выполнению самостоятельной работы студентов "Основы профессиональной деятельности" [Электронный ресурс]: для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров: 15.03.03 – “Прикладная механика”, очной формы обучения / Е. В. Матвеева; ВГУИТ, Кафедра технической механики. - Воронеж : ВГУИТ, 2016. - 10 с. Режим доступа:

<http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/2488>

6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	https://www.edu.ru/
Научная электронная библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp?
Национальная исследовательская компьютерная сеть России	https://niks.su/
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	http://window.edu.ru/
Электронная библиотека ВГУИТ	http://biblos.vsu.ru/megapro/web
Сайт Министерства науки и высшего образования РФ	https://minobrnauki.gov.ru/
Портал открытого on-line образования	https://npoed.ru/
Электронная информационно-образовательная среда ФГБОУ ВО «ВГУИТ»	https://education.vsu.ru/

6.5 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

При изучении дисциплины используется программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы: ЭИОС университета, в том числе на базе программной платформы «Среда электронного обучения 3KL», автоматизированная информационная база «Интернет-тренажеры», «Интернет-экзамен» и пр.

При освоении дисциплины используется лицензионное и открытое программное обеспечение ОС Windows, ОС ALT Linux.

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Обеспеченность процесса обучения техническими средствами полностью соответствует требованиям ФГОС по направлению подготовки. Материально-техническая база приведена в лицензионных формах и расположена по адресу <http://vsuet.ru>.

Для проведения занятий используются:

№ 124 Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, лабораторных и практических занятий, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (для всех направлений и специальностей)	Переносное мультимедийное оборудование: проектор View Sonic PJD 5232, экран на штативе DigisKontur-CDSKS-1101, доска 3-х элементная мел/маркер
№ 126 Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, лабораторных и практических занятий, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (для всех направлений и специальностей)	Проектор View Sonic PJD 5232, экран на штативе Di-gisKontur-CDSKS-1101, ноутбук, лабораторно-испытательное оборудование: металлографический микроскоп Optika XDS-3MET, разрывная машина IP20 2166P-5/500, блок управления ПУ-7 УХЛ 4.2
№ 127 Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, лабораторных и практических занятий, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (для всех направлений и специальностей)	Машина испытания на растяжение МР-0,5, машина испытания на кручение КМ-50, машина универсальная разрывная УММ-5, машина испытания пружин МИП-100, машина разрывная УГ 20/2, машина испытания на усталость МУИ-6000, копер маятниковый
№ 127а Компьютерный класс	Моноблок Гравитон (12 шт.)
№ 133 Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, лабораторных и практических занятий, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (для всех направлений и специальностей)	Переносное мультимедийное оборудование: проектор View Sonic PJD 5232, экран на штативе Di-gisKontur-CDSKS-1101
№ 227 Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, лабораторных и практических занятий, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (для всех направлений и специальностей)	Интерактивная доска SMART Board SB660 64, комплект лабораторного оборудования для проведения дисциплины "Детали машин и основы конструирования": машина тарировочная, прибор ТММ105-1, стенды методические

Самостоятельная работа обучающихся может осуществляться при использовании:
Зал научной литературы ресурсного центра ВГУИТ: компьютеры Regard - 12 шт. Студенческий читальный зал ресурсного центра ВГУИТ: моноблоки - 16 шт.

8 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

8.1 Оценочные материалы (ОМ) для дисциплины включают в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

8.2 Для каждого результата обучения по дисциплине определяются показатели и критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

ОМ представляются отдельным комплектом и входят в состав рабочей программы дисциплины.

Оценочные материалы формируются в соответствии с П ВГУИТ «Положение об оценочных материалах».

Документ составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 15.03.03 –Прикладная механика.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине

Теория упругости

1. Требования к результатам освоения дисциплины (перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы)

(матрица соответствия планируемых (обобщенных) результатов обучения профессиональным компетенциям)

Индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
		знать	уметь	владеть
ПК-7	готов выполнять НИР и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям.	широко используемые в промышленности наукоемкие компьютерные технологии применительно к решению задач теории упругости	использовать экспериментальное оборудование для проведения механических испытаний	методикой выполнения расчетно-экспериментальных работ в области теории упругости
ПК-12	способен применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;	классические и технические теории и методы математического и компьютерного моделирования упругого поведения конструкций и оборудования	строить математические модели для анализа свойств упруго деформируемых объектов и выбирать численные методы их моделирования	методами прочностных расчетов машин и сооружений в области упругих деформаций

2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины (описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалоценивания)

В ходе формирования компетенций при изучении дисциплины существуют следующие показатели и критерии оценивания:

№ п/п	Показатель	Критерии оценивания	Описание шкалы оценивания
1	Домашняя работа	Оценка в баллах	2-5
2	Контрольная работа	Оценка в баллах	2-5
3	Собеседование	Оценка в баллах	2-5

№ п/п	Контролируемые модули/разделы/темы дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Технология оценки (способ контроля)
			наименование	№№ заданий	
1.	Напряженно-деформированное состояние в точке	ПК-7	Домашняя работа	1 – 10	Оценка в баллах
			Собеседование	101 - 114	Оценка в баллах
2.	Основные уравнения теории упругости	ПК-7	Контрольная работа	61 - 70	Оценка в баллах
			Собеседование	115 - 121	Оценка в баллах
3.	Плоская задача напряженного состояния	ПК-7	Домашняя работа	11 - 20	Оценка в баллах
			Контрольная работа	71 - 80	Оценка в баллах
			Собеседование	122 - 130	
4.	Пространственная задача напряженного состояния	ПК-7	Домашняя работа	21 - 30	Оценка в баллах
			Собеседование	131 - 136	Оценка в баллах
5.	Вариационная формулировка задач теории упругости	ПК-12	Домашняя работа	31 - 40	Оценка в баллах
			Собеседование	137 - 148	Оценка в баллах
6.	Изгиб тонких пластин	ПК-12	Контрольная работа	81 - 90	Оценка в баллах
			Собеседование	149 - 156	Оценка в баллах
7.	Основы теории оболочек	ПК-12	Домашняя работа	41 - 50	Оценка в баллах
			Контрольная работа	91 - 100	Оценка в баллах
			Собеседование	157 - 164	Оценка в баллах
8.	Численные методы решения задач теории упругости	ПК-12	Домашняя работа	51 - 60	Оценка в баллах
			Собеседование	165 - 169	Оценка в баллах

3. Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет) (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы)

Задания к домашним работам (текущая аттестация)

Индекс компетенции	Номер задания	Формулировка задания
ПК-7	1 – 10	Задание 1. Плоское напряженное состояние (обратная задача): по заданным нормальным и касательным напряжениям на произвольной площадке аналитически и графически определить главные напряжения и положение главной площадки, определяемое углом α . Определить главные деформации (Алмаметов Ф.З., Арсеньев С.И. и др. Расчетные и курсовые работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие. – СПб: Лань, 2005. – С.97, 99).
ПК-7	11 - 20	Задание 2. Определение напряжений в трехслойной составной трубе: по заданным внутренним и наружным радиусам трех толстостенных цилиндрических труб, натягам, модулю продольной упругости материала труб и избыточному внутреннему давлению, приложенному к трехслойной трубе определить окружные и радиальные нормальные напряжения в стенках скрепленных труб до и после приложения внутреннего давления, а также эквивалентные напряжения на внутренних и наружных поверхностях каждой трубы. Сравнить максимальные эквивалентные напряжения для скрепленной трехслойной трубы с максимальными эквивалентными напряжениями для однослойной трубы тех же размеров (Алмаметов Ф.З., Арсеньев С.И. и др. Расчетные и курсовые работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие. – СПб: Лань, 2005. – С.214 – 216).
ПК-7	21 – 30	Задание 3. Анализ напряжений и перемещений при стесненном кручении тонкостенного стержня: по заданным величинам сосредоточенных или распределенных по длине стержня крутящих пар, условиям стеснения кручения, геометрическим параметрам стержней определить взаимный поворот крайних сечений, распределение нормальных и касательных напряжений по контуру сечения и длине стержня (Алмаметов Ф.З., Арсеньев С.И. и др. Расчетные и курсовые работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие. – СПб: Лань, 2005. – С.176 - 178).
ПК-12	31 – 40	Задание 4. Применение метода Ритца к определению прогибов в статически определимой двухопорной балке. Используя метод Ритца найти прогибы в балках, представленных на рис.6.1: вариант 1 – балка а), на конце консоли; вариант 2 – балка а), в середине консоли; вариант 3 – балка б), на конце консоли; вариант 4 – балка б), в середине консоли; вариант 5 – балка в), на конце консоли; вариант 6 – балка в), в середине консоли; вариант 7 – балка г), в середине пролета; вариант 8 – балка д), в середине пролета; вариант 9 – балка д), на расстоянии 1 м от левой опоры; вариант 10 – балка е), в середине пролета (Качурин В.К. Сборник задач по сопротивлению материалов. – М.: Наука, 1970. – С.125).
ПК-12	41 – 50	Задание 5. Расчет на прочность тонкостенных сосудов по безмоментной теории: по заданным габаритным размерам сосуда, величине внутреннего давления, удельному весу жидкости и величине допускаемого напряжения определить окружные и меридиональные напряжения в стенках сосуда и построить их эпюры. Определить толщину стенки сосуда по гипотезе наибольших касательных напряжений (Алмаметов Ф.З., Арсеньев С.И. и др. Расчетные и курсовые работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие. – СПб: Лань, 2005. – С.190, 202 – 203).
ПК-12	51 - 60	Задание 6. Расчет стержневой системы методом конечных элементов: найти перемещения узлов, внутренние силовые факторы и напряжения в стержневой конструкции, конфигурация и схема нагружения которой заданы. Необходимые характеристики стержней приведены в табл. 10.1 (Алмаметов Ф.З., Арсеньев С.И. и др. Расчетные и курсовые работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие. – СПб: Лань, 2005. – С.160, 167 - 168).

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «отлично»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено верно и не содержит вычислительных ошибок;
- **оценка «хорошо»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено верно и не содержит существенных вычислительных ошибок;
- **оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено верно и содержит существенные вычислительные ошибки;
- **оценка «не удовлетворительно»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено неверно.

Задания к контрольным работам (текущая аттестация)

Индекс компетенции	Номер задания	Формулировка задания
ПК-7	61 - 70	С применением основных уравнений теории упругости решить следующие задачи: 37 – 44, 47, 50 (Безухов Н.И. Сборник задач по теории упругости и пластичности. – М.: ГИТТЛ, 1957. – С. 31 – 40).
ПК-7	71 - 80	Применяя результаты решения плоской задачи теории упругости в декартовых координатах, решить следующие задачи: 88, 90, 91 (а, б, в, г, д, е, ж, з) (Безухов Н.И. Сборник задач по теории упругости и пластичности. – М.: ГИТТЛ, 1957. – С. 64 – 66).
ПК-12	81 - 90	Определить параметры полярно-симметричного изгиба круглых пластинок в задачах 191 - 200 (Безухов Н.И. Сборник задач по теории упругости и пластичности. – М.: ГИТТЛ, 1957. – С. 147 – 153).
ПК-12	91 - 100	С применением безмоментной теории и третьей теории прочности определить толщину стенки сосуда, включающего две осесимметричные оболочки вращения (схемы 1 – 10) (Бахолдин А.М., Болтенкова О.М. и др. Техническая механика, Сопротивление материалов (Теория и практика). – Воронеж, ВГУ-ИТ, 2013. – С.161 – 162).

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «отлично»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено верно и не содержит вычислительных ошибок;
- **оценка «хорошо»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено верно и не содержит существенных вычислительных ошибок;
- **оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено верно и содержит существенные вычислительные ошибки;
- **оценка «не удовлетворительно»** выставляется студенту, если решение задачи выполнено неверно.

Вопросы к зачету

Индекс компетенции	Номер задания	Формулировка вопроса
ПК-7	101	Нагрузки и напряжения
ПК-7	102	Определение напряжений в площадке общего положения. Тензор напряжений
ПК-7	103	Главные напряжения
ПК-7	104	Круговая диаграмма напряженного состояния
ПК-7	105	Типы напряженных состояний
ПК-7	106	Октаэдрическое касательное напряжение
ПК-7	107	Разложение тензора напряжений на шаровой тензор и девиатор напряжений
ПК-7	108	Инварианты напряженного состояния. Интенсивность напряжений
ПК-7	109	Перемещения и деформации в точке тела. Тензор деформации
ПК-7	110	Главные деформации
ПК-7	111	Обобщенный закон Гука
ПК-7	112	Потенциальная энергия деформации в общем случае напряженного состояния

		ния
ПК-7	113	Шаровой тензор деформаций и девиатор деформаций
ПК-7	114	Интенсивность деформаций
ПК-7	115	Три группы основных уравнений теории упругости
ПК-7	116	Уравнения равновесия элементов тела (статические уравнения)
ПК-7	117	Геометрические уравнения теории упругости
ПК-7	118	Уравнения совместности деформаций
ПК-7	119	Физические уравнения теории упругости
ПК-7	120	Понятие о методе напряжений и методе перемещений
ПК-7	121	Принцип Сен-Венана
ПК-7	122	План решения плоской задачи напряженного состояния
ПК-7	123	Статическая сторона плоской задачи напряженного состояния. Дифференциальные уравнения равновесия
ПК-7	124	Напряжения по наклонным площадкам плоского элемента
ПК-7	125	Главные напряжения. Условия на контуре в плоской задаче
ПК-7	126	Геометрическая и физическая сторона плоской задачи
ПК-7	127	Уравнение совместности для плоской задачи
ПК-7	128	Функция напряжений
ПК-7	129	Решение плоской задачи в полиномах
ПК-7	130	Решение плоской задачи в полярных координатах
ПК-7	131	Решение пространственной задачи в напряжениях
ПК-7	132	Решение пространственной задачи в перемещениях
ПК-7	133	План решения пространственной задачи на примере чистого изгиба призматического бруса
ПК-7	134	Решение пространственной задачи в цилиндрических координатах
ПК-7	135	Сосредоточенная сила, приложенная внутри упругого пространства
ПК-7	136	Последовательность расчета балки на упругом основании
ПК-12	137	Понятие функционала.
ПК-12	138	Примеры экстремалей функционала.
ПК-12	139	Понятие первой вариации функционала.
ПК-12	140	Необходимое условие существования экстремали у функционала.
ПК-12	141	Метод Ритца для приближенного отыскания экстремалей.
ПК-12	142	Энергия деформируемого тела как функционал.
ПК-12	143	Функционал полной энергии для балки
ПК-12	144	Вариационный принцип Лагранжа.
ПК-12	145	Связь между вариационной и дифференциальной формулировками задач теории упругости.
ПК-12	146	Метод Ритца для приближенного определения прогибов.
ПК-12	147	Принцип Кастильяно.
ПК-12	148	Применение принципа Кастильяно для приближенного решения задач теории упругости.
ПК-12	149	Перемещения и деформации в пластине при изгибе.
ПК-12	150	Напряжения в пластинах при изгибе.
ПК-12	151	Дифференциальное уравнение изгиба пластины.
ПК-12	152	Внутренние усилия в пластинах при изгибе.
ПК-12	153	Дифференциальные соотношения.
ПК-12	154	Граничные условия на контуре пластины.
ПК-12	155	Наибольшие напряжения в пластинах.
ПК-12	156	Расчет пластин на прочность.
ПК-12	157	Основные определения и гипотезы теории оболочек.
ПК-12	158	Деформации, напряжения и внутренние усилия в тонких оболочках.
ПК-12	159	Пологие оболочки.
ПК-12	160	Деформации пологой оболочки.
ПК-12	161	Уравнения равновесия пологой оболочки.
ПК-12	162	Разрешающая система уравнений пологой оболочки. Граничные условия.
ПК-12	163	Потенциальная энергия пологой оболочки.
ПК-12	164	Безмоментное осесимметричное напряженное состояние оболочек вращения.

ПК-12	165	Метод конечных разностей (МКР).
ПК-12	166	Применение МКР при решении плоской задачи.
ПК-12	167	Метод конечных элементов (МКЭ).
ПК-12	168	Построение матрицы жесткости конечного элемента.
ПК-12	169	Общая процедура расчета по МКЭ.

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «отлично»** выставляется студенту, если он ответил на 5 из 5 заданных вопросов;
- **оценка «хорошо»** выставляется студенту, если он ответил на 4 из 5 заданных вопросов;
- **оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если он ответил на 3 из 5 заданных вопросов;
- **оценка «не удовлетворительно»** выставляется студенту, если он не ответил на 3 и более из 5 заданных вопросов.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценки знаний, умений, навыков студентов по дисциплине «Теория упругости» применяется бально-рейтинговая система оценки студента.

1. Рейтинговая система оценки осуществляется в течение всего семестра при проведении аудиторных занятий, показателем ФОС является выполнение домашних и контрольных работ. Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре – 25.

2 Бальная система служит для получения зачета по дисциплине.

Максимальное число баллов за семестр – 30.

Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре – 25.

Максимальное число баллов на зачете – 5.

Минимальное число баллов за текущую работу в семестре – 15.

Студент, набравший в семестре менее 15 баллов для того чтобы быть допущенным до зачета может заработать дополнительные баллы, переделав домашние и контрольные работы

Студент, набравший за текущую работу менее 15 баллов, т.к. не выполнил всю работу в семестре по объективным причинам (болезнь, официальное освобождение и т.п.) допускается до зачета, однако ему дополнительно задаются вопросы на собеседовании по разделам, выносимым на зачет.

В случае неудовлетворительной сдачи зачета студенту предоставляется право повторной сдачи в срок, установленный для ликвидации академической задолженности по итогам соответствующей сессии. При повторной сдаче зачета количество набранных студентом баллов на предыдущем зачете не учитывается.

Зачет проводится в виде собеседования по вопросам, выносимым на зачет.

Максимальное количество вопросов на **собеседовании** – 5.

Максимальная сумма баллов на **собеседовании** – 5.

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «отлично»** выставляется студенту, если он по итогам работы в семестре и собеседования набрал от 30 до 35 баллов включительно;
- **оценка «хорошо»** выставляется студенту, если он по итогам работы в семестре и собеседования набрал от 24 до 29 баллов включительно;
- **оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если он по итогам работы в семестре и собеседования набрал от 18 до 23 баллов включительно;
- **оценка «не удовлетворительно»** выставляется студенту, если он по итогам работы в семестре и собеседования набрал менее 18 баллов.

5. Матрица соответствия результатов обучения, показателей, критериев и шкалоценки

Результаты обучения (на основе обобщённых компетенций)	Предмет оценки (продукт или процесс)	Показатель оценки	Критерии оценки	Шкала оценки	
				Академическая оценка (зачтено/незачтено)	Уровень освоения компетенции
<p>ПК-7 - готов выполнять НИР и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности;</p> <p>ПК-12 - готов участвовать в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин.</p>					
Знать	Собеседование	Знание основных понятий и законов теории упругости и определение на их основе методики решения типовых задач	Определены необходимые закономерности теории упругости, позволяющие решить поставленную задачу.	Удовлетворительно	Базовый
Уметь	Домашнее задание, контрольная работа	Решение типовой задачи теории упругости	Студент самостоятельно определил необходимую последовательность решения задачи и получил решение, не содержащее методологических и грубых вычислительных ошибок.	Хорошо	Продвинутый
Владеть	Домашнее задание, контрольная работа	Решение нестандартной задачи теории упругости	Студент самостоятельно определил необходимую последовательность решения нестандартной задачи и указал все необходимые для решения расчетные зависимости	Отлично	Высокий