

**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

Основы теории устойчивости механических систем

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

Целью освоения дисциплины «Основы теории устойчивости механических систем» является формирование профессиональных компетенций в области теории устойчивости движения механических систем в плане совершенствования техники в направлении повышения работоспособности и минимизации массы необходимых при осуществлении проектно-конструкторской деятельности в области прикладной механики.

Задачи дисциплины:

проектно-конструкторская деятельность:

- участие в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин;
- участие в проектировании деталей и узлов с использованием программных систем компьютерного проектирования на основе эффективного сочетания передовых технологий и выполнения многовариантных расчетов;
- участие в работах по технико-экономическим обоснованиям проектируемых машин и конструкций;
- участие в работах по составлению отдельных видов технической документации на проекты, их элементы и сборочные единицы;

Объектами профессиональной деятельности являются:

- физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, композитные структуры, сооружения, установки, агрегаты, 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;
- технологии: информационные технологии, наукоемкие компьютерные технологии, расчетно-экспериментальные технологии, производственные технологии (технологии создания композиционных материалов, технологии обработки металлов давлением и сварочного производства, технология повышения износостойкости деталей машин и аппаратов), нанотехнологии;
- расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики, имеющие приложение к различным областям техники, включая авиа- и вертолетостроение, автомобилестроение, гидро- и теплотехнику, атомную энергетику, гражданское и промышленное строительство, двигателестроение, железнодорожный транспорт, металлургию и металлургическое производство, нефтегазовое оборудование для добычи, транспортировки, хранения и переработки, приборостроение, нано- и микросистемную технику, ракетостроение и космическую технику, робототехнику и мехатронные системы, судостроение и морскую технику, транспортные системы, тяжелое и химическое машиностроение, электро- и энергомашиностроение;
- материалы, в первую очередь новые, перспективные, многофункциональные и "интеллектуальные материалы", материалы с многоуровневой или иерархической структурой, материалы техники нового поколения, функционирующей в экстремальных условиях, в условиях концентрации напряжений и деформаций, мало- и многоциклового усталости, контактных взаимодействий и разрушений, различных типов изнашивания, а также в условиях механических и тепловых внешних воздействий.

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

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции	В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:		
			Знать	Уметь	Владеть
1	ПК-1	способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	теоретические основы и особенности устойчивости работы механических систем	выявлять сущность научно-технических проблем при анализе задач устойчивости	способностью выявлять сущность технических проблем устойчивости
2	ПК-14	способностью выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов	методы оптимизации при проектировании устойчивых механических систем	самостоятельно решать технические, творческо-конструкторские задачи устойчивости	методами решения технических, творческо-конструкторских и изобретательских задач
3	ПК-16	готовностью к внедрению результатов разработок машин для механических испытаний материалов	направления творческой технической деятельности и методы конструирования с учетом аспектов устойчивости	внедрять результаты конструкторских разработок	методами и способами внедрения результатов разработок задач устойчивости в практическую деятельность

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к вариативной части основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки «Прикладная механика» (уровень образования - бакалавр). Дисциплина является дисциплиной по выбору.

Изучение дисциплины «Основы теории устойчивости механических систем» основано на знаниях, умениях и навыках, полученных при изучении обучающимися предшествующих дисциплин: "Электротехника и электроника", "Физические основы теплотехники", "Сопротивление материалов", "Теория упругости", "Строительная механика", "Теоретическая механика", "Метрология и стандартизация", "Теория механизмов и основы робототехники", "Технология машиностроения", "Аналитическая динамика и теория колебаний", "Композиционные материалы в машиностроении", "Численные методы в механике", "Основы динамических расчетов механизмов", "Вычислительная механика".

Дисциплина «Основы теории устойчивости механических систем» является предшествующей для освоения следующих дисциплин: "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 практика, технологическая практика", "Производственная практика, преддипломная практика защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты".

4. Объем дисциплины и виды учебных занятий

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего академ. часов	Распределение по семестрам в часах
		8 семестр
Общая трудоёмкость дисциплины	216	216
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	58,3	58,3
Лекции	22	22
В том числе в форме практической подготовки	22	22
Практические занятия (ПЗ)	33	33
В том числе в форме практической подготовки	33	33
Консультации текущие	1,1	1
Консультации перед экзаменом	2	2
<i>Вид аттестации (экзамен)</i>	0,2	0,2
Самостоятельная работа обучающихся(СРО)	123,9	123,9
Проработка конспектов лекций по дисциплине	66	66
Подготовка отчетов по практическим работам	27,9	27,9
Подготовка к зачету	30	30
Подготовка к экзамену (контроль)	-	33,8

5 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

5.1 Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, акад. час
1	Задачи и общие проблемы теории устойчивости	Многообразие случаев проявления неустойчивости движения технических систем. Основы устойчивости движения нелинейных динамических систем и методы исследования устойчивости движения этих систем. Дифференциальные уравнения возмущенного движения. Линеаризация этих уравнений. Математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований. Методы математического и компьютерного моделирования при решении задач устойчивости	45
2	Теоремы и критерии устойчивости	Системы многовариантного анализа механических объектов. Теорема Лагранжа об устойчивости равновесия консервативных систем. Критерии устойчивости линейных систем (Гурвица, Найквиста, Вышнеградского, Михайлова). Теорема Кельвина о влиянии диссипативных сил. Влияние на устойчивость движения консервативной системы гироскопических сил. Динамические явления аэроупругости. Явление аэроупругости и родствен-	45

		ные им явления у многоступенчатых ракет-носителей. Явление потери аэроупругой динамической устойчивости.	
3	Влияние на устойчивость движения консервативной системы диссипативных и гироскопических сил	Теория устойчивости движения в классических постановках. Неустойчивость при истечении струи из трубки. Трехстепенной гироскоп и его свойства. Моделирование земного резонанса. Этапы разработки машин для механических испытаний материалов. Алгоритм внедрения результатов разработок механических испытаний материалов	45
4	Явление потери аэроупругой динамической устойчивости	Устойчивость нелинейных динамических систем (технических) и определить критические параметры функционирования этих систем. Задача устойчивости движения ракеты. Принципиальная схема стабилизации Шимми колеса	45
5	Задачи стабилизации	Моделирование панельного флаттера	36

5.2 Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в акад. часах		
		Лекции	ПЗ	СРО
1	Задачи и общие проблемы теории устойчивости	4	3	24,1
2	Теоремы и критерии устойчивости	8	4	27,9
3	Влияние на устойчивость движения консервативной системы диссипативных и гироскопических сил	6	4	23,3
4	Явление потери аэроупругой динамической устойчивости	2	14	27,3
5	Задачи стабилизации	2	8	21,2

5.2.1 Лекции

Наименование разделов дисциплины	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1. Задачи и общие проблемы теории устойчивости	Многообразие случаев проявления неустойчивости движения технических систем. Основы устойчивости движения нелинейных динамических систем и методы исследования устойчивости движения этих систем	2
	Дифференциальные уравнения возмущенного движения. Линеаризация этих уравнений. Математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследования. методы математического и компьютерного моделирования	2
2. Теоремы и критерии устойчивости	Теорема Лагранжа об устойчивости равновесия консервативных систем. Критерии устойчивости линейных систем (Гурвица, Найквиста, Вышнеградского, Михайлова).	2

	Теорема Кельвина о влиянии диссипативных сил. Влияние на устойчивость движения консервативной системы гироскопических сил.	2
	Динамические явления аэроупругости. Явление аэроупругости и родственные им явления у многоступенчатых ракет-носителей. Явление потери аэроупругой динамической устойчивости.	2
	Устойчивости нелинейных динамических систем (технических) и определить критические параметры функционирования этих систем Задача устойчивости движения ракеты. Принципиальная схема стабилизации.	2
3. Влияние на устойчивость движения консервативной системы диссипативных и гироскопических сил	Теория устойчивости движения в классических постановках. Неустойчивость при истечении струи из трубки	2
	Трех-степенной гироскоп и его свойства	2
	Моделирование земного резонанса. Этапы разработки машин для механических испытаний материалов. Алгоритм внедрения результатов разработок механических испытаний материалов	2
4. Явление потери аэроупругой динамической устойчивости	Шимми колеса	2
5. Задачи стабилизации	Моделирование панельного флаттера	2

5.2.2 Практические занятия, семинары

Наименование разделов дисциплины	Наименование или краткое содержание практического занятия	Кол-во часов
1. Задачи и общие проблемы теории устойчивости	Вывод уравнений движения системы крыло-руль с помощью уравнений Лагранжа. Устойчивость одноосного гиростабилизатора (критерии Гурвица и Вышнеградского)	3
2. Теоремы и критерии устойчивости	Устойчивость двигателя внутреннего сгорания (критерии Вышнеградского и Михайлова). Стабилизация однорельсового вагона. Устойчивость гировертиканта Собственные изгибно-крутильные колебания лопасти авиационного винта.	4
3. Влияние на устойчивость движения консервативной системы диссипативных и гироскопических сил	Классический флаттер. Исследование характеристик флаттера НВ при набегании потока сзади. Динамическая реакция сферического и цилиндрического резервуаров на порыв ветра.	4
4. Явление потери аэроупругой динамической устойчивости	Явление потери аэроупругой динамической устойчивости	14
5. Задачи стабилизации	Принципиальная схема стабилизации. Критерии устойчивости линейных систем	8

5.2.3 Лабораторные работы не предусмотрены

5.2.4 Самостоятельная работа обучающегося

Вид работы и содержание задания	Выполнение СРО	Кол-во часов
1. Задачи и общие проблемы теории устойчивости	Проработка конспектов лекций по дисциплине	13,1
	Подготовка отчетов по практическим работам	5
	Подготовка к зачету	6
2. Теоремы и критерии устойчивости	Проработка конспектов лекций по дисциплине	16,9
	Подготовка отчетов по практическим работам	5
	Подготовка к зачету	6
3. Влияние на устойчивость движения консервативной системы диссипативных и гироскопических сил	Проработка конспектов лекций по дисциплине	12,3
	Подготовка отчетов по практическим работам	5
	Подготовка к зачету	6
4. Явление потери аэроупругой динамической устойчивости	Проработка конспектов лекций по дисциплине	11,3
	Подготовка отчетов по практическим работам	10
	Подготовка к зачету	6
5. Задачи стабилизации	Проработка конспектов лекций по дисциплине	12,3
	Подготовка отчетов по практическим работам	2,9
	Подготовка к зачету	6

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Основная литература

1. Куликов, И. С. Динамика механических систем : учебное пособие / И. С. Куликов, Г. А. Маковкин ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ), 2013. – 147 с. : ил., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=427479> (дата обращения: 16.09.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 5-87941-357-8. – Текст : электронный.

2. Власов, Ю. Колебания механических систем : учебное пособие / Ю. Власов ; Оренбургский государственный университет. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2011. – 165 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259370> (дата обращения: 16.09.2021). – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.

3. Вильке, В. Г. Механика систем материальных точек и твердых тел : учебник / В. Г. Вильке ; Национальный исследовательский университет – Высшая школа экономики. – Москва : Физматлит, 2013. – 268 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275429> (дата обращения: 16.09.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9221-1481-3. – Текст : электронный.

6.2 Дополнительная литература:

1. Алфутов, Н. А. Устойчивость движения и равновесия Учеб.для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов в обл. машиностроения и систем упр. Н. А. Алфутов, К. С. Колесников; Под ред. К. С. Колесникова. - 2-е изд., стер. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. - 252,[1]с.
2. Меркин, Д. Р. Введение в теорию устойчивости движения Учеб.пособие Д. Р. Меркин. - 4-е изд., стер. - СПб.и др.: Лань, 2013. - 304с.
3. Томпсон, Д. М. Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике Пер. с англ. В. Л. Бердичевского. - М.: Мир, 1985. - 254 с.ил.
4. Теория колебаний, устойчивости и катастроф [Электронный ресурс] в PDF-формате.-Б.м.:Регулярная и хаотическая динамика, 2015
5. Барбашин, Е. А. Введение в теорию устойчивости [Текст] Е.А. Барбашин. - Изд. стер. - М.: URSS : ЛИБРОКОМ, 2014. - 223 с.ил.
6. Воротников, В. И. Устойчивость динамических систем по отношению к части переменных В. И. Воротников. - М.: Наука, 2013. - 286 с. ил.

6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

Матвеева, Е. В. Методические указания к выполнению самостоятельной работы студентов "Основы профессиональной деятельности" [Электронный ре-сурс]: 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/102633>

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

Используемые виды информационных технологий:

- «электронная»: персональный компьютер и информационно-поисковые (справочно-правовые) системы;
- «компьютерная» технология: персональный компьютер с программными продуктами разного назначения (ОС Windows; MSOffice; СПС «Консультант плюс»);
- «сетевая»: локальная сеть университета и глобальная сеть Internet.

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

Используемые виды информационных технологий:

- «электронная»: персональный компьютер и информационно-поисковые (справочно-правовые) системы;
- «компьютерная» технология: персональный компьютер с программными продуктами разного назначения «компьютерная» технология: персональный компьютер с программными продуктами разного назначения (ОС Windows; MSOffice);
- «сетевая»: локальная сеть университета и глобальная сеть Internet.

Программы	Лицензии, реквизиты подтверждающего документа
Microsoft WindowsXP	Microsoft Open License Microsoft WindowsXP Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com
Microsoft Windows 8.1 (64 - bit)	Microsoft Open License Microsoft Windows Professional 8 Russian Upgrade Academic OPEN 1 License No Level#61280574 от 06.12.2012 г. http://eopen.microsoft.com
MicrosoftOffice 2007	Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com
MicrosoftOffice 2010	Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com
AdobeReaderXI	(бесплатноеПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volumedistribution.htm

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.)

<p>№ 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)</p>	<p>Переносное мультимедийное оборудование: проектор View Sonic PJD 5232, экран на штативе Di-gisKontur-CDSKS-1101</p>
<p>№ 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)</p>	<p>Интерактивная доска SMART Board SB660 64, комплект лабораторного оборудования для проведения дисциплины "Детали машин и основы конструирования": машина тарировочная, прибор ТММ105-1, стенды методические</p>

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

**Основы теории устойчивости механических
систем**

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