

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 29 » августа 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Строительная механика энергоустановок  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 144 (4)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 13.03.03 Энергетическое машиностроение  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Энергетическое машиностроение (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

# 1. Общие положения

## 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является приобретение студентами навыков расчета конструкций и отдельных элементов энергетических установок на прочность, жесткость и устойчивость при различных воздействиях с использованием современных программ конечно-элементного анализа.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение методов расчета на прочность, жесткость и устойчивость отдельных элементов конструкций энергетических установок;
- освоение программы конечно-элементного анализа для проведения прочностных расчетов и анализа конструкций на устойчивость;
- формирование навыков владения персональным компьютером как инструментом для проведения расчетов элементов конструкции энергетических установок на прочность, жесткость и устойчивость.

## 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- основы строительной механики элементов инженерных конструкций;
- методы расчета на прочность, жесткость и устойчивость различных конструкций;
- современные компьютерные программы для решения задач строительной механики.

## 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.4	ИД-1ПК-1.4	Знает основы прикладной теории упругости, классификацию сил, задач строительной механики и расчетных схем; основные модели напряженно-деформированного состояния; методы решения линейной задачи теории упругости и приближенные методы решения задач строительной механики; методы расчета стержневых систем и ферменных конструкций; гипотезы и основные уравнения, используемые при расчете пластин и оболочек; методы определения устойчивости конструкций	Демонстрирует понимание влияния условий работы объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок на принимаемые конструктивные решения	Дифференцированный зачет
ПК-1.4	ИД-2ПК-1.4	Умеет проводить кинематический анализ, расчет на прочность и устойчивость стержневых систем и ферменных конструкций, использовать безмоментную и моментную теории оболочек, определять запасы прочности и устойчивости элементов конструкций энергоустановок, проводить динамический анализ конструкций	Умеет проводить расчеты по определению основных параметров элементов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	Защита лабораторной работы
ПК-1.4	ИД-3ПК-1.4	Владеет навыками исследования элементов конструкций энергетических установок на прочность, жесткость и устойчивость	Владеет навыками принимать обоснованные технические решения при создании объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	Защита лабораторной работы
ПК-2.3	ИД-1ПК-2.3	Знает основы метода конечных элементов и основные возможности конечно-элементных	Знает современные информационные технологии и современные пакеты прикладных	Дифференцированный зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		программ для проведения прочностных расчетов; стандартные форматы обмена графической информацией между приложениями	программ для исследования процессов в газоперекачивающих агрегатах и энергетических установках	
ПК-2.3	ИД-2ПК-2.3	Умеет определять собственные частоты и формы колебаний элементов конструкций энергоустановок с использованием конечно-элементных программ и применять современные компьютерные программы для решения задач строительной механики	Умеет применять современные программно-вычислительные комплексы для исследования процессов и режимов работы объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	Защита лабораторной работы
ПК-2.3	ИД-3ПК-2.3	Владеет навыками построения геометрической и конечно-элементной моделей в ANSYS и ANSYS Workbench и их использования для проведения прочностного статического анализа и динамического анализа элементов конструкций энергетических установок	Владеет навыками использования современных компьютерных технологий при анализе и расчете объектов газоперекачивающих агрегатов и энергетических установок	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	72	72	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	32	32	
- лабораторные работы (ЛР)	36	36	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
7-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основы прикладной теории упругости и конечно-элементного анализа в ANSYS	12	12	0	24
<p>Введение.</p> <p>Место дисциплины в системе подготовки специалиста. Цель преподавания и задачи изучения дисциплины. Состав дисциплины. Объем в часах лекционных и лабораторных занятий. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.</p> <p>Предмет и задачи курса. Задачи прочностного анализа и методы исследования. Классификация расчетных схем. Классификация сил. Классификация задач строительной механики.</p> <p>Тема 1. Основы прикладной теории упругости. Деформированное состояние. Тензор деформаций. Главные деформации. Инварианты деформированного состояния. Интенсивность деформаций. Объемная деформация. Уравнения связи деформаций и перемещений в декартовой системе координат. Уравнения неразрывности деформаций.</p> <p>Напряженное состояние. Тензор напряжений. Главные напряжения. Закон парности касательных напряжений. Инварианты напряженного состояния. Обобщенный закон Гука. Физико-механические свойства конструкционных материалов. Изотропные и анизотропные материалы. Понятие о вязкоупругости.</p> <p>Дифференциальные уравнения равновесия в декартовой системе координат.</p> <p>Запись основных уравнений теории упругости в цилиндрической системе координат.</p> <p>Методы решения линейной задачи теории упругости. Метод перемещений и метод сил. Задача Ламе.</p> <p>Основные модели напряженно-деформированного состояния (НДС). Плоское напряженное состояние (ПНС). Плоско-деформированное состояние (ПДС). Решение осесимметричных задач.</p> <p>Запасы прочности, как соотношение разрушающей и расчетной нагрузок. Коэффициент безопасности и основные его составляющие.</p> <p>Тема 2. Вариационные и приближенные методы расчета силовых конструкций.</p> <p>Потенциальная энергия деформации упругой системы. Вариационное решение задачи теории упругости в перемещениях. Вариационный принцип Лагранжа.</p> <p>Приближенные методы решения задач строительной механики. Метод Ритца-Тимошенко.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Конечно-разностные методы. Метод конечных элементов.</p> <p>Тема 3. Использование пакета конечно-элементного анализа ANSYS.</p> <p>Назначение комплектация и основные возможности пакета. Основные этапы решения задачи в ANSYS.</p> <p>Место конечно-элементного анализа при проектировании. Построение геометрической и конечно-элементной моделей, задание граничных условий, решение задачи, анализ результатов.</p> <p>Стандартные форматы обмена графической информации между приложениями.</p> <p>Решение плоских задач (ПНС, ПДС, осесимметричная). Расчет стержней и балок. Расчет пластин и оболочек. Динамический анализ (гармонический анализ, модальный анализ, анализ переходных процессов). Температурный анализ.</p> <p>Проведение расчетов на устойчивость.</p>				
<p>Расчет на прочность и устойчивость основных конструктивных элементов</p>	12	18	0	32
<p>Тема 4. Расчет стержневых систем и ферменных конструкций.</p> <p>Кинематический анализ стержневых систем и ферменных конструкций. Статически определимые и неопределимые стержневые системы. Расчет плоских стержневых систем и пространственных ферм. Расчет статически определимых ферм. Метод вырезания углов. Метод сечений.</p> <p>Особенности построения стержневых и балочных моделей в ANSYS.</p> <p>Тема 5. Расчет пластин.</p> <p>Основные уравнения и гипотезы. Вывод основных уравнений в декартовой системе координат. Плоское напряженное состояние пластин. Изгиб пластин, основные соотношения. Вывод дифференциального уравнения упругой поверхности пластины. Учет граничных условий. Общее решение дифференциального уравнения для прямоугольной пластины. Решение в двойных тригонометрических рядах (метод Навье). Метод Бубнова-Галеркина. Круглые пластины.</p> <p>Особенности расчета прогиба пластин в ANSYS.</p> <p>Тема 6. Расчет оболочек вращения.</p> <p>Основные понятия и гипотезы Кирхгофа-Лява. Геометрия оболочек вращения. Основные соотношения общей теории оболочек. Вывод геометрических соотношений (уравнений связи деформаций и перемещений).</p> <p>Безмоментная теория оболочек вращения. Основные уравнения безмоментной теории оболочек.</p> <p>Уравнения осесимметричной задачи.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Вычисление напряжений и деформации в сферической и цилиндрической оболочках при действии внутреннего давления.</p> <p>Основные уравнения моментной теории оболочек.</p> <p>Уравнения моментной теории оболочек при осесимметричной деформации.</p> <p>Краевой эффект для цилиндрической оболочки.</p> <p>Расчеты оболочек в ANSYS.</p> <p>Тема 7. Расчет на устойчивость.</p> <p>Понятие об устойчивости. Задача Эйлера.</p> <p>Зависимость критической силы от условий закрепления стержня.</p> <p>Устойчивость пластин. Устойчивость прямоугольной пластины, шарнирно опертой по контуру и сжатой в одном направлении. Двустороннее сжатие прямоугольной пластины.</p> <p>Устойчивость цилиндрических оболочек.</p> <p>Устойчивость цилиндрических оболочек при осевом сжатии и внешнем давлении. Устойчивость сферической оболочки при внешнем давлении.</p> <p>Особенности расчетов на устойчивость в ANSYS.</p>				
Основы метода конечных элементов	8	6	0	16
<p>Тема 8. Конечные элементы.</p> <p>Дискретизация области исследования (одномерные и двумерные элементы).</p> <p>Одномерный симплекс-элемент. Получение функций формы. Свойства функций формы. Естественные координаты. Вывод функций формы для линейного и квадратичного одномерного элементов.</p> <p>Треугольный конечный элемент. L-координаты треугольного элемента. Вывод функций формы для линейного и квадратичного треугольных элементов.</p> <p>Четырехугольные конечные элементы.</p> <p>Трехмерные конечные элементы.</p> <p>Тема 9. Математические модели решения задач теории упругости.</p> <p>Одномерная модель. Плоское напряженное состояние. Плоское деформированное состояние. Обобщенная плоская деформация. Осесимметричные модели. Трехмерное напряженно-деформированное состояние.</p> <p>Тема 10. Применение МКЭ для модели плоского напряженного состояния.</p> <p>Запись основных соотношений теории упругости для конечного элемента в матричной форме. Вычисление производных функций формы. Матрица Якоби.</p> <p>Математическая постановка МКЭ. Основные этапы решения задачи МКЭ.</p> <p>Тема 11. Численная реализация МКЭ.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Построение конечно-элементной модели конструкции. Формирование матрицы конечного элемента. Применение численного интегрирования при определении матрицы элементов. Формирование глобальной матрицы системы уравнений МКЭ. Организация хранения глобальной матрицы системы уравнений МКЭ. Учет граничных условий при решении систем уравнений МКЭ. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Вычисление деформаций и напряжений.				
ИТОГО по 7-му семестру	32	36	0	72
ИТОГО по дисциплине	32	36	0	72

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение НДС углового кронштейна
2	Создание конечно-элементной модели в ANSYS и ANSYS Workbench
3	Расчет напряженно-деформированного состояния конструкции при действии статической нагрузки в плоской постановке (модели ПДС и ПНС)
4	Расчет напряженно-деформированного состояния конструкции при действии статической нагрузки в осесимметричной постановке
5	Расчет ферменных конструкций с использованием пакета ANSYS
6	Расчет пластин с использованием пакета ANSYS
7	Расчет оболочек вращения с использованием пакета ANSYS
8	Расчет на устойчивость пластин и оболочек с использованием пакета ANSYS
9	Решение задачи термоупругости с использованием пакета ANSYS
10	Модальный анализ конструкций
11	Гармонический анализ конструкций
12	Расчет напряженно-деформированного состояния конструкции при нестационарной силовой нагрузке
13	Решение контактных задач в ANSYS
14	Расчеты на прочность элементов конструкций энергетических установок в ANSYS

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика : учебник для вузов. 12-е изд., стер. Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. 655 с.	31
2	Котов А. Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS : учебное пособие. Пермь : ПГТУ, 2008. 350 с.	122
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера : практическое руководство. Москва : Едиториал УРСС, 2003. 270 с.	14

2	Саргсян А. Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций : учебник для вузов. Москва : Высшая школа, 2004. 462 с.	64
3	Чигарев А. В., Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. ANSYS для инженеров : справочное пособие. Москва : Машиностроение, 2004. 511 с.	43
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. Пермь : ПНИПУ, 2012 -.	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Каменских А. А. Реализация решения задач механики контактного взаимодействия в прикладном пакете ANSYS : учебное пособие / А. А. Каменских, М. Л. Бартоломей. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017.	<a href="https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3967">https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3967</a>	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Котов А.Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS, 2008. – 350 с.	<a href="https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2826">https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2826</a>	локальная сеть; свободный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 7 (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022 )
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

Вид ПО	Наименование ПО
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )

#### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	<a href="https://техэксперт.сайт/">https://техэксперт.сайт/</a>

#### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Компьютеры	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Строительная механика энергоустановок»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

Направление подготовки	<u>13.03.03 Энергетическое машиностроение</u>
Направленность (профиль) образовательной программы:	<u>Газоперекачивающие агрегаты и энергетические установки</u>
Квалификация выпускника:	<u>бакалавр</u>
Выпускающая кафедра:	<u>Ракетно-космическая техника и энергетические системы</u>
Форма обучения:	<u>очная</u>

Курс: 4

Семестр(ы): 7

Трудоемкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:	<u>4</u>
Часов по рабочему учебному плану:	<u>144</u>

Форма промежуточной аттестации:

Дифф. зачет: 7

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (7-го семестра учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные занятия и лабораторные работы, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и дифференцированного зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	текущий		рубежный		итоговый
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	дифф. зачет
<b>Усвоенные знания</b>					
3.1. Знает основы прикладной теории упругости.		ТО1		КР1	ТВ
3.2. Знает классификацию сил, задач строительной механики и расчетных схем.		ТО1		КР1	ТВ
3.3. Знает основные модели напряженно-деформированного состояния.		ТО1		КР1	ТВ
3.4. Знает методы решения линейной задачи теории упругости и приближенные методы решения задач строительной механики.		ТО1		КР1	ТВ
3.5. Знает методы расчета стержневых систем и ферменных конструкций.		ТО2		КР2	ТВ
3.6. Знает гипотезы и основные уравнения, используемые при расчете пластин и оболочек.		ТО2		КР2	ТВ
3.7. Знает методы определения устойчивости конструкций.		ТО2		КР2	ТВ
3.8. Знает основы метода конечных элементов и основные возможности конечно-элементных программ для проведения прочностных расчетов.		ТО3		КР3	ТВ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	текущий		рубежный		итоговый
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	дифф. зачет
3.9. Знает стандартные форматы обмена графической информации между приложениями.		ТОЗ		КРЗ	ТВ
<b>Освоенные умения</b>					
У.1 Умеет проводить кинематический анализ, расчет на прочность и устойчивость стержневых систем и ферменных конструкций.			ОЛР5, ОЛР8		ПЗ
У.2 Умеет использовать безмоментную и моментную теории оболочек, определять запасы прочности и устойчивости элементов конструкций энергоустановок.			ОЛР1- ОЛР14		ПЗ
У.3 Умеет проводить динамический анализ конструкций, определять собственные частоты и формы колебаний элементов конструкций энергоустановок с использованием конечно-элементных программ и применять современные компьютерные программы для решения задач строительной механики.			ОЛР1- ОЛР14		ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>					
В.1. Владеет навыками исследования элементов конструкций энергетических установок на прочность, жесткость и устойчивость.			ОЛР1- ОЛР14		КЗ
В.2. Владеет навыками построения геометрической и конечно-элементной моделей в ANSYS и ANSYS Workbench и их использования для проведения прочностного статического анализа и динамического анализа элементов конструкций энергетических установок.			ОЛР1- ОЛР14		КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; ИЗ – индивидуальное задание; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); РР – расчётная работа; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

– межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

– контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 14 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 3 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основы прикладной теории упругости и конечно-элементного анализа в ANSYS», вторая КР – по модулю 2 «Расчет на прочность и устойчивость основных конструктивных элементов», третья КР – по модулю 3 «Основы метода конечных элементов».

#### **Типовые задания первой КР:**

1. Уравнения неразрывности деформаций.
2. Дифференциальные уравнения равновесия в декартовой системе координат.

3. Формулировка линейной задачи теории упругости для модели плоского напряженного состояния.

4. Использование метода сил для модели плоского напряженного состояния.

5. Использование метода перемещений для решения задачи Ляме.

#### **Типовые задания второй КР:**

1. Провести кинематический анализ стержневой системы.

2. Провести расчет ферменной конструкции с использованием метода вырезания узлов.

3. Вывести геометрические соотношения для оболочки вращения.

4. Определить перемещения, деформации и напряжения в сферической оболочке при действии внутреннего давления.

5. Провести расчет на устойчивость прямоугольной пластины при заданных граничных условиях.

#### **Типовые задания третьей КР:**

1. Получить функции формы для квадратичного одномерного элемента.

2. Получить функции формы для квадратичного треугольного элемента.

3. Записать основных соотношений теории упругости для конечного элемента в матричной форме.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.4. Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

#### **2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Дифференцированный зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных компетенций.

### **2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Предмет и задачи курса. Классификация задач строительной механики, расчетных схем и сил.
2. Назначение комплектация и основные возможности пакета ANSYS. Основные этапы решения задачи в ANSYS.
3. Построение геометрической и конечно-элементной моделей в пакете ANSYS.
4. Решение плоских задач в ANSYS (ПНС, ПДС, осесимметричная).
5. Уравнения неразрывности деформаций.
6. Дифференциальные уравнения равновесия в декартовой системе координат.
7. Формулировка линейной задачи теории упругости.
8. Основные модели напряженно-деформированного состояния.
9. Методы решения линейной задачи теории упругости. Метод перемещений и метод сил.
10. Использование метода сил для модели ПНС.
11. Решение задачи Ламе.
12. Основные понятия стержневых систем. Геометрически изменяемые и неизменяемые стержневые системы. Фермы и рамы. Статически определимые и неопределимые стержневые системы. Кинематический анализ стержневых систем.
13. Расчет статически определимых ферм. Метод вырезания углов. Метод сечений.
14. Основные понятия и гипотезы Кирхгофа-Лява. Вывод уравнений теории тонких пластин. Плоское напряженное состояние пластин.
15. Изгиб пластин. Вывод дифференциального уравнения упругой поверхности пластины.
16. Расчет оболочек вращения. Основные понятия и гипотезы Кирхгофа-Лява. Геометрия оболочек вращения.
17. Вывод геометрических соотношений (уравнений связи деформаций и перемещений) оболочек вращения.
18. Уравнения безмоментной теории оболочек.
19. Уравнения осесимметричной задачи безмоментной теории оболочек.
20. Основные уравнения моментной теории оболочек.
21. Краевой эффект для цилиндрической оболочки.
22. Устойчивость прямоугольной пластины, шарнирно опертой по контуру и сжатой в одном направлении.
23. Устойчивость пластин. Двустороннее сжатие прямоугольной пластины.
24. Устойчивость цилиндрических оболочек при осевом сжатии.

25. Устойчивость цилиндрических оболочек при действии внешнего давления.

**Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Провести кинематический анализ ферменной конструкции.
2. Провести расчет ферменной конструкции на прочность.
3. Провести расчет ферменной конструкции на устойчивость.
4. Используя безмоментную теорию оболочек определить напряжения и деформации в сферической оболочке при действии внутреннего давления.
5. Провести динамический анализ системы с одной степенью свободы.

**Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Построить геометрическую и конечно-элементную модели заданной конструкции в ANSYS Workbench.
2. Провести расчет на прочность заданной конструкции в осесимметричной постановке с использованием программы ANSYS.
3. Определять собственные частоты и формы колебаний заданной конструкции энергоустановок с использованием программы ANSYS.
4. Провести расчет на устойчивость заданной конструкции с использованием программы ANSYS.

#### **2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время дифференцированного зачета.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче дифференцированного зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при дифференцированном зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.