

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

« 06 » марта 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Компьютерное моделирование процессов в ракетных двигателях

\_\_\_\_\_  
(наименование)

**Форма обучения:** очная

\_\_\_\_\_  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** специалитет

\_\_\_\_\_  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 288 (8)

\_\_\_\_\_  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных  
двигателей

\_\_\_\_\_  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Проектирование ракетных двигателей твердого топлива  
(СУОС)

\_\_\_\_\_  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины – изучение основных методов проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчетов ракетных двигателей твердого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов применением современных программных средств.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Процессы в ракетных двигателях твердого топлива и их элементах при действии газодинамических, тепловых и конструкционных нагрузок

### 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
ПК-2.8	ИД-1ПК-2.8	Знает основные методы численного решения газодинамических, тепловых и прочностных задач применительно к процессам в ракетных двигателях твердого топлива; основные возможности прикладных программ для численного решения задач газовой динамики и строительной механики; типы расчетных задач возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей;	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива.	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.8	ИД-2ПК-2.8	<p>Умеет применять современные компьютерные программы для решения задач строительной механики; применять современные компьютерные программы для решения задач газовой динамики; проводить постановку задач для численного исследования процессов возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей; проводить анализ результатов полученных при численном моделировании;</p>	<p>Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.</p>	Защита лабораторной работы
ПК-2.8	ИД-3ПК-2.8	<p>Владеет методами построения геометрических и сеточных моделей применяемых для газодинамических, тепловых и прочностных расчётов ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием; навыками использования пакета ANSYS для проведения тепловых и прочностных расчетов элементов конструкций ракетных двигателей; навыками использования пакета ANSYS CFX для проведения газодинамического анализа элементов конструкций ракетных двигателей; навыками обработки результатов численного моделирования и их сравнения с другими методами исследования конструкции ракетных</p>	<p>Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.</p>	Защита лабораторной работы

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

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		9	10
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	108	54	54
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	28	14	14
- лабораторные работы (ЛР)	72	36	36
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	8	4	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	180	90	90
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9		9
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	288	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	СРС
9-й семестр				
Использование пакета конечно-элементного анализа ANSYS для решения основных задач строительной механики	2	4	0	20
Назначение комплектация и основные возможности пакета. Основные этапы решения задачи в ANSYS. Место конечно-элементного анализа при проектировании. Основные понятия метода конечных элементов. Интерполяция искомой функции с помощью функции формы. Основные уравнения МКЭ. Граничные и начальные условия. Решение уравнений МКЭ. Анализ результатов решения. Реализация МКЭ в пакете ANSYS.				

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 работы в ANSYS Workbench	2	4	0	10
Графический интерфейс Workbench. Работа с проектом в Workbench. Подготовка геометрических моделей. Создание плоских и объемных моделей. Управление материалами и их свойствами. Генерация конечно-элементной сетки. Основные формы и типы конечных элементов. Порядок разбиения сетки и настройки сеточного генератора. Рекомендации построения сеток для различных задач. Виды нагрузок и граничных условий. Настройка решателя.				
Решение задач строительной механики в ANSYS Workbench	2	12	0	10
Расчет прочности стержней и балок. Решение прочностных задач в двумерной постановке. Расчет пластин и оболочек. Динамический анализ (гармонический анализ, модальный анализ, анализ переходных процессов). Температурный анализ. Проведение расчетов на устойчивость. Связанные задачи.				
Статический прочностной анализ ракетного двигателя твердого топлива	3	6	0	20
Требования к топливному заряду. Нагрузки действующие на ракетный двигатель. Особенности физико-механических свойств твердых ракетных топлив. Критерии прочности твердого ракетного топлива. Расчетные зоны заряда. Расчет напряжений в заряде. Особенности решения задачи определения напряженно-деформированного заряда в Ansys.				
Термо-НДС заряда твердого ракетного топлива	3	5	0	15
Температурные нагрузки при хранении РДТТ. Равновесная температура ТРТ. Определение напряженно-деформированного состояния ракетного двигателя при хранении. Особенности решения задачи термо-НДС РДТТ в Ansys.				
Динамическое состояние ракетного двигателя	2	5	0	15
Понятие динамического анализа. Особенности динамического нагружения заряда. Динамическое состояние заряда ракетного двигателя в упругой постановке при воздействии радиальной нагрузки. Гармонический анализ. Модальный анализ. Анализ переходных процессов. Особенности определения собственной частоты радиальных колебаний заряда в Ansys с помощью гармонического и модального анализа.				
ИТОГО по 9-му семестру	14	36	0	90
10-й семестр				
Основы решения задач вычислительной газовой	3	6	0	15

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
динамики в ANSYS CFX Назначение комплектация и основные возможности пакета. Типы задач вычислительной газовой динамики. Основные этапы решения задачи в ANSYS CFX. Препроцессор, решатель и постпроцессор. Определение целей задач и области моделирования. Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными результатами.				
Решение основных уравнений вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX	3	6	0	25
Основные уравнения применяемые для расчета течения жидкости и газов. Уравнения Навье-Стокса, неразрывности, энергии и основные методы их численного решения. Особенности метода конечных объемов в ANSYS CFX. Турбулентные и ламинарные течения. Математические модели, применяемые для расчета турбулентных течений жидкости и газов. Модели турбулентности применение и рекомендации. Осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса и RANS модели турбулентности. Вихреразрешающее моделирование.				
Основы работы в ANSYS CFX	3	6	0	15
Обзор интерфейса ANSYS CFX. Поддерживаемые форматы сеток. Определение свойств материалов. Домены жидкости, пористых материалов и твердых тел. Многокомпонентные и многофазные потоки. Моделирование потоков с учетом сжимаемости. Граничные условия и начальные условия. Рекомендации использования граничных условий. Настройки решателя. Критерии сходимости решения уравнений. Невязки, дисбалансы и контрольные точки. Запуск расчета. Типы распараллеливания. Обработка результатов решения.				
Постпроцессинг. Расчет интегральных характеристик, графическая визуализация расчетных данных	2	6	0	15
Методы отображения и анализа результатов применительно к задачам вычислительной газовой динамики. Создание дополнительных функций. Создание дополнительных точек, линий и сечений в расчетной области. Определение интегральных характеристик. Анимация. Адаптация сетки. Критерии для адаптации.				
Особенности решения задач вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX	3	12	0	20
Стационарный и нестационарный типы анализа. Обтекание и внешнее течение. Расчеты в				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
пограничном слое и свободном течении. Задачи с теплопереносом. Задачи с подвижными стенками. Ротор-статор взаимодействие. Течение со свободной поверхностью. Связанные задачи.				
ИТОГО по 10-му семестру	14	36	0	90
ИТОГО по дисциплине	28	72	0	180

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение напряженно-деформированного состояния пластины с отверстием в ANSYS Workbench
2	Расчет ферменных конструкций с использованием ANSYS Workbench
3	Расчет прочности пластин и оболочек в Ansys Workbench
4	Расчет устойчивости конструкций в Ansys Workbench
5	Решение задачи Герца в Ansys Workbench
6	Исследование напряженно-деформированного состояния прочноскрепленного заряда в Ansys Workbench
7	Расчет термо-НДС заряда ракетного топлива в Ansys Workbench
8	Определение подъемной силы при обтекание профиля крыла в ANSYS CFX и сравнение результатов с экспериментальными данными
9	Смещение горячего и холодного потоков воды в Т-образном смесителе
10	Моделирование вентиляции в помещении
11	Ротор-статор взаимодействие
12	Моделирование теплопередачи от нагревательной спирали
13	Связанный термомеханический расчет смесителя с разно-температурными потоками
14	Моделирование течения со свободной поверхностью

## 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	Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера : практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. - Москва: Едиториал УРСС, 2003.	17
2	Шингель Л. П. Системы автоматизированного проектирования. Решение задач прочностного анализа с использованием пакета программ ANSYS 12.1 : учебно-методическое пособие / Л. П. Шингель. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015.	25
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		



1	Котов А. Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS : учебное пособие / А. Г. Котов. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	124
2	Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. - Москва: Машиностроение, 2004.	44
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<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	Басов К. А. ANSYS в примерах и задачах : [совместная работа в системах CAD и ANSYS] / К. А. Басов. - Москва: КомпьютерПресс, 2002.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2371">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2371</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Котов А. Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS : учебное пособие / А. Г. Котов. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2826">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2826</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Шингель Л. П. Системы автоматизированного проектирования. Решение задач прочностного анализа с использованием пакета программ ANSYS 12.1 : учебно-методическое пособие / Л. П. Шингель. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3714">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3714</a>	сеть Интернет; свободный доступ

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

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
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.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 444632 ЦВВС)
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	SOLIDWORKS Education Edition ( дог.№ L271113-83M от 27.10.2013 каф.ПКТЭС АКФ)

### 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>

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

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

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

Описан в отдельном документе

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Компьютерное моделирование процессов в ракетных двигателях»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Специальность:</b>	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
<b>Специализация программы специалитета</b>	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
<b>Квалификация выпускника:</b>	инженер
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
<b>Форма обучения:</b>	очная

**Курс:** 3

**Семестр:** 10

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 8 ЗЕ  
Часов по рабочему учебному плану: 288 ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Зачет: 9 семестр  
Дифф. зачет: 10 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Компьютерное моделирование процессов в ракетных двигателях». 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 двух семестров (9-го и 10-го семестров учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные 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 и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, зачета (9 семестр) и диф.зачета (10 семестр). Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	9 семестр		10 семестр	
	Текущий	Промежуточный	Текущий	Промежуточный
<b>Усвоенные знания</b>				
<b>ИД-1ПК-2.8</b> Знает основные методы численного решения газодинамических, тепловых и прочностных задач применительно к процессам в ракетных двигателях твердого топлива; основные возможности прикладных программ для численного решения задач газовой динамики и строительной механики; типы расчетных задач возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей;	С КР	ТВ	С КР	ТВ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	9 семестр		10 семестр	
	Текущий	Промежуточный	Текущий	Промежуточный
<b>Освоенные умения</b>				
<b>ИД-2ПК-2.8</b> Умеет применять современные компьютерные программы для решения задач строительной механики; применять современные компьютерные программы для решения задач газовой динамики; проводить постановку задач для численного исследования процессов возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей; проводить анализ результатов полученных при численном моделировании;	ОЛР		ОЛР	
<b>Приобретенные владения</b>				
<b>ИД-3ПК-2.8</b> Владеет методами построения геометрических и сеточных моделей применяемых для газодинамических, тепловых и прочностных расчётов ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием; навыками использования пакета ANSYS для проведения тепловых и прочностных расчетов элементов конструкций ракетных двигателей; навыками использования пакета ANSYS CFX для проведения газодинамического анализа элементов конструкций ракетных двигателей; навыками обработки результатов численного моделирования и их сравнения с другими методами исследования конструкции ракетных		ПЗ		ПЗ

*С – собеседование по теме; ОЛР – отчет по лабораторной работе; КР – контрольная работа; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание.*

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 по каждой теме, защиты отчета по лабораторной работе и контрольной работы. 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 лабораторных работ 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 2 контрольные работы (КР) в конце учебных семестров. Первая КР – «Использование пакета конечно-элементного анализа ANSYS для решения основных задач строительной механики», вторая КР – «Использование ANSYS CFX для решения задач вычислительной газовой динамики».

#### **Типовые задания первой КР:**

1. Понятия напряжений, деформаций и перемещений. Связь напряжений и деформаций для случая одноосного растяжения. Модуль упругости и коэффициент Пуассона. Диаграмма деформирования.

2. Статический прочностной анализ. Общее уравнение движения. Уравнения жесткости конечного элемента.

#### **Типовые задания второй КР:**

1. Понятие турбулентности. Подходы применяемые для численного моделирования турбулентных течений.

2. Настройки решателя. Схемы адвекции и расчет турбулентности. Контроль сходимости. Временной масштаб.

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

### **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

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

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде зачета по дисциплине устно по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса (ТВ) для проверки усвоенных знаний и комплексное задание (ПЗ) 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. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для зачета и диф.зачета по дисциплине**

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

1. Обобщенный закон Гука. Физико-механические свойства конструкционных материалов. Изотропные и анизотропные материалы.



2. Создание конечно-элементной сетки в ANSYS Workbench. Основные этапы создания сетки. Настройки размера и формы конечных элементов. Построение структурированной сетки.

3. Основные модели турбулентности. k-epsilon, k-omega, SST, модели моделирования вихрей.

4. Турбулентность в пристеночном слое. Параметр  $y^+$  и пристеночные функции.

### **Типовые практические задания для контроля освоенных умений и владений:**

1. Создать геометрическую модель для расчета по предоставленной схеме.

2. Построить расчетную сетку с заданными параметрами для предоставленной геометрической модели.

3. Провести расчет прочности детали в соответствии с предоставленной схемой нагружения и расчетной сеткой.

4. Провести расчет течения жидкости в соответствии с предоставленным заданием и расчетной сеткой.

*Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта билетов хранится на выпускающей кафедре.*

### **2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на дифференцированном 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 шкала 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 зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

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 зачета или дифференцированного зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.