

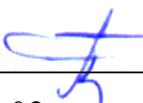
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 02 » октября 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Компьютерное моделирование процессов в энергетических
установках летательных аппаратов
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 252 (7)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных
двигателей
(код и наименование направления)

Направленность: Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты двигателей
летательных аппаратов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является получение студентами знаний об основных методах и задачах вычислительной гидродинамики, умений и навыков применять современное программное обеспечение и компьютерные комплексы для расчёта параметров рабочих процессов объектов профессиональной деятельности, построения геометрических моделей их деталей и узлов.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование системы знаний об основных законах, уравнениях, методах и современных проблемах вычислительной гидродинамики;
- формирование умения решать задачи гидродинамики с применением программных систем компьютерного моделирования и компьютерного инжиниринга (CAE-систем);
- формирование умения рационально сочетать аналитические методы и численные методы вычислительной гидродинамики;
- формирование навыков применения современных методов вычислительной гидродинамики;
- формирование навыков построения физико-механических, математических и компьютерных моделей для решения задач прикладной механики, с применением программных систем компьютерного инжиниринга (CAE-систем).

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- физико-механические процессы и явления, протекающие в двигателях летательных аппаратов и энергетических установках;
- конструкции, оборудование и другие объекты современной техники отраслей промышленности: двигателестроение, авиастроение, ракетостроение и космическая техника, нефтегазовое оборудование для добычи, транспортировки, хранения и переработки углеводородов;
- информационные технологии;
- наукоёмкие компьютерные технологии на основе применения передовых CAD/CAE-технологий;
- расчётно-экспериментальные технологии, суперкомпьютерные технологии и технологии распределённых вычислений на основе высокопроизводительных кластерных систем.

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-1.7	ИД-1ПК-1.7	Знает современные методы вычислительной гидродинамики; структуру и интерфейс современных систем численного моделирования; основные физические свойства, законы движения жидкостей и газов; физические процессы, протекающие в двигателях летательных аппаратов и энергетических установках	Знает современные информационные технологии, сетевые компьютерные технологии, математические пакеты	Контрольная работа
ПК-1.7	ИД-2ПК-1.7	Умеет применять современные программно-вычислительные комплексы для исследования процессов, протекающих в двигателях летательных аппаратов и энергетических установках	Умеет применять современные программно-вычислительные комплексы для исследования процессов и режимов работы объектов профессиональной деятельности	Защита лабораторной работы
ПК-1.7	ИД-3ПК-1.7	Владеет навыками использования информационных технологий, в том числе современных систем вычислительной гидродинамики, систем компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы) для решения проблем двигателей летательных аппаратов и энергетических установок	Владеет навыками математического моделирования при анализе и расчете объектов профессиональной деятельности	Зачет

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:	102	54	48
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	34	18	16
- лабораторные работы (ЛР)	62	32	30
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	6	4	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	150	90	60
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	18	9	9
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	252	144	108

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				
Основы решения задач вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX	4	2	0	15
Тема 1. Основы решения задач вычислительной газовой 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.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Решение основных уравнений вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX	6	2	0	25
Тема 2. Решение основных уравнений вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX. 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.				
Изучение компьютерных программ для ассоциативного построения 3D геометрии с целью последующего моделирования физических процессов	5	14	0	25
Тема 3. Введение в Siemens NX. Эскизы. Знакомство с системой автоматизированного проектирования NX. Модуль Моделирование. Создание, открытие и сохранение файла детали. Система координат. Типы объектов. Управление видами. Навигатор модели. Выражения. Конструктор точек. Эскизы. Размещение эскиза. Выбор привязок эскиза. Степени свободы. Размеры. Альтернативное решение. Проецирование кривой. Геометрические ограничения. Отображение и удаление ограничений. Тема 4. Кривые и поверхности. Базовые плоскости. Координатные оси. Создание слоёв и управление слоями. Ассоциативность. Кривая по закону. Кривая смещения. Свёртка/развёртка кривой на поверхность. Мостик. Сплайн. Построение поверхности по кривым. Создание поверхности вытягиванием и вращением. Тема 5. Операции с твёрдыми телами. Построение проточной области. Экспорт геометрии. Создание тел с помощью вытягивания и вращения. Моделирование с помощью примитивов (блок, цилиндр, конус, сфера). Моделирование с помощью конструктивных элементов (отверстие, бобышка, скругление ребра, фаска, паз). Параметрическое конструирование. Прямое моделирование. Булевы операции. Выделение поверхностей. Экспорт и импорт геометрии.				
Изучение вычислительных комплексов для построения расчётных сеток	3	14	0	25

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>Тема 6. ICEM CFD. Неструктурированные сетки Tetra.</p> <p>Знакомство с сеточным генератором ICEM CFD. Основные инструменты. Модуль Geometry. Построение геометрических объектов: возможности ICEM. Модуль Mesh. Использование модуля Tetra для построения пространственных неструктурированных расчетных сеток. Глобальный размер элемента. Измельчение сетки на границах. Проверка на ошибки. ICEM CFD.</p> <p>Неструктурированные расчётные сетки. Настройка параметров разбиения модели. Глобальный и локальные размеры. Создание областей локального сгущения.</p> <p>Тема 7. ICEM CFD. Структурированные сетки Hexa. Блокинг. Расчётная сетка O-типа. Разбиение рёбер на заданное количество узлов. Скрипты в ICEM CFD. Обзор основных критериев качества сетки.</p> <p>Тема 8. Построение расчётной сетки в Workbench. Модуль для построения лопаточных машин. Автоматическая генерация расчётной сетки. Количество узлов и элементов. Размер элементов. Измельчение расчётной сетки.</p>				
ИТОГО по 9-му семестру	18	32	0	90
10-й семестр				
Основы работы в ANSYS CFX	4	6	0	15
<p>Тема 9. Основы работы в ANSYS CFX.</p> <p>Обзор интерфейса ANSYS CFX. Поддерживаемые форматы сеток. Импорт 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.</p>				
Постпроцессинг. Расчет интегральных характеристик, графическая визуализация расчетных данных	4	6	0	15
<p>Тема 10. Постпроцессинг.</p> <p>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.</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
Критерии для адаптации.				
Решение задач вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX	8	18	0	30
Тема 11. Особенности решения задач вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX. Стационарный и нестационарный типы анализа. Обтекание и внешнее течение. Расчеты в пограничном слое и свободном течении. Задачи с теплопереносом. Задачи с подвижными стенками. Течение со свободной поверхностью. Связанные задачи. Тема 12. Моделирование турбулентных течений. Структура турбулентных течений. Подходы к моделирования турбулентности. RANS модели. Осредненные уравнения Навье-Стокса по Рейнольдсу. Структура турбулентного течения вблизи стенки. Выбор первого пристеночного элемента. Области применения моделей турбулентности. Тема 13. Моделирование нестационарных процессов. Итерационный цикл решения нестационарной задачи. Определение времени расчета и временного шага. Условие Куранта. Инициализация начального поля параметров. Сохранение и просмотр результатов. Тема 14. Решение задач турбомашиностроения (осевого ротора-статора в ANSYS CFX). Задание периодических границ. Типы интерфейсов: периодичность, интерфейс между рабочим колесом и направляющим аппаратом. Вращение области. Анализ результатов расчёта в постпроцессоре.				
ИТОГО по 10-му семестру	16	30	0	60
ИТОГО по дисциплине	34	62	0	150

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	NX 7.0. Знакомство с системой автоматизированного проектирования NX. Модуль Моделирование. Создание, открытие и сохранение файла детали. Система координат. Типы объектов. Управление видами. Навигатор модели. Выражения. Конструктор точек. Эскизы. Выполнение заданий по построению объектов эскиза. Размещение эскиза.
2	NX 7.0. Выбор привязок эскиза. Степени свободы. Размеры. Альтернативное решение. Проецирование кривой. Геометрические ограничения. Отображение и удаление ограничений.
3	NX 7.0. Кривые. Базовые плоскости. Координатные оси. Создание слоёв и управление слоями. Ассоциативность.

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
4	NX 7.0. Кривая по закону. Кривая смещения. Свёртка/развёртка кривой на поверхность. Мостик. Сплайн.
5	NX 7.0. Поверхности. Построение поверхности по кривым. Создание поверхности вытягиванием и вращением. Выполнение заданий по построению кривых и поверхностей.
6	NX 7.0. Операции с 3D телами. Вытягивание тел, вращения. Выполнение заданий по построению объёмных тел. Построение проточной области. Экспорт геометрии
7	NX 7.0. Моделирование с помощью примитивов (блок, цилиндр, конус, сфера). Моделирование с помощью конструктивных элементов (отверстие, бобышка, скругление ребра, фаска, паз).
8	NX 7.0. Параметрическое конструирование. Прямое моделирование. Булевы операции. Выделение поверхностей. Экспорт и импорт геометрии.
9	Построение в NX 3D геометрии шнека. Построение в NX расчётной области для гидроциклона
10	ICEM CFD. Построение геометрических объектов. Построение неструктурированной расчётной сетки. Настройка параметров разбиения модели. Глобальный и локальные размеры. Создание областей локального сгущения.
11	ICEM CFD. Построение структурированной гексагональной расчётной сетки. Создание блокинга. Создание сетки O-типа. Проверка качества сетки.
12	Построение в ICEM CFD неструктурированной сетки типа «тетра» для гидроциклона
13	Скрипты в ICEM CFD. Создание скрипта для построения геометрии (с заданным диаметром и длиной) и структурированной расчётной сеткой.
14	Построение сеток для расчёта течения в трубе. Сетка типа Tetra
15	Построение сеток для расчёта течения в трубе. Сетка типа Hexa. Структурированные сетки Hexa Блокинг. Расчётная сетка O-типа. Разбиение рёбер на заданное количество узлов.
16	ICEM CFD. Скрипты в ICEM CFD. Обзор основных критериев качества сетки.
17	Workbench Meshing. Построение расчётной сетки в Workbench Meshing. Количество узлов и элементов. Размер элементов. Измельчение расчётной сетки.
18	TurboGrid. Модуль для построения лопаточных машин Автоматическая генерация расчётной сетки по заданной структуре.
19	Расчёт течения в трубе: задача Пуазейля. Сравнение с аналитическим решением задачи.
20	Моделирование течения в перемешивающей трубе (Injection Mixing Pipe из ANSYS CFX Tutorials).
21	Моделирование течения дыма из трубы (Circular Vent из ANSYS CFX Tutorials)
22	Расчёт в ANSYS CFX задачи об обратном клапане.
23	Расчёт статического миксера в ANSYS CFX. Линии тока, контурное распределение, анимация.
24	Расчёт статического миксера в Workbench. Графики, векторное распределение.
25	Моделирование течения в осевом роторе и статоре (Axial Rotor/Stator из ANSYS CFX Tutorials)
26	Расчёт рабочего колеса осевой ступени насоса.
27	Расчет осевого компрессора. Стационарная задача.
28	Расчет осевого компрессора. Нестационарная задача.

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
1. Основная литература		
1	Бояршинов М. Г. Методы вычислительной математики : учебное пособие. Пермь : ПГТУ, 2008. 420 с.	60
2	Введение в математическое моделирование : учебное пособие / Ашихмин В. Н., Гитман М. Б., Келлер И. Э., Наймарк О.Б., Столбов В. Ю., Трусков П. В., Фрик П.Г. М : Логос, 2007. 439 с.	35
3	Вычислительные методы в динамике жидкостей. Основные положения и общие методы. М. : Мир, 1991. 504 с.	13
4	Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера : практическое руководство. Москва : Едиториал УРСС, 2003. 270 с.	14
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		

1	Киреев В. И., Войновский А. С. Численное моделирование газодинамических течений. Москва : МАИ им. С. Орджоникидзе, 1991. 253 с.	3
2	Оран Э., Борис Дж. Численное моделирование реагирующих потоков : пер. с англ. Москва : Мир, 1990. 661 с.	7
3	Попов Д. Н., Панаиотти С. С., Рябинин М. В. Гидромеханика : учебник для вузов. 2-е изд., стер. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 383 с.	76
4	Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М. : Физматлит, 2005. 316 с.	14
5	Фрик П. Г. Турбулентность: подходы и модели. Москва Ижевск : ИКИ, 2003. 291 с.	65
6	Чигарев А. В., Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. ANSYS для инженеров : справочное пособие. Москва : Машиностроение, 2004. 511 с.	42
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	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	Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Захарова Ю.В. Моделирование гидрогазодинамических процессов в ПК ANSYS 17.0 : учебное пособие. Моделирование гидрогазодинамических процессов в ПК ANSYS 17.0. Новосибирск: Новосиб. гос. арх.-стр. ун-т. ЭБС АСВ, 2016. 169 с.	https://www.iprbookshop.ru/68793.html	сеть Интернет; авторизованный 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)

Вид ПО	Наименование ПО
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	WinRAR (лиц.№ 879261.1493674)
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978)
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	NX Academic Perpetual License Core +CAD +CAE +CAM (договор №P/43469-02-ПНИПУ от 03.12.2015)

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	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

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
«Компьютерное моделирование процессов в энергетических установках
летательных аппаратов»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Специальность:	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация программы специалитета	Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты двигателей летательных аппаратов
Квалификация выпускника:	инженер
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
Форма обучения:	очная

Курс: 5

Семестр: 9,10

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 7 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 252 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Дифф. зачет: 9, 10 семестр

Пермь 2023

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Компьютерное моделирование процессов в энергетических установках летательных аппаратов». 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 7 учебных модулей. 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
Усвоенные знания				
ИД-1ПК-1.7 Знает современные методы вычислительной гидродинамики; структуру и интерфейс современных систем численного моделирования; основные физические свойства, законы движения жидкостей и газов; физические процессы, протекающие в двигателях летательных аппаратов и энергетических установках.	С КР	ТВ	С КР	ТВ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	9 семестр		10 семестр	
	Текущий	Промежуточный	Текущий	Промежуточный
Освоенные умения				
ИД-2ПК-1.7 Умеет применять современные программно-вычислительные комплексы для исследования процессов, протекающих в двигателях летательных аппаратов и энергетических установках.	ОЛР	ПЗ	ОЛР	ПЗ
Приобретенные владения				
ИД-3ПК-2.8 Владеет навыками использования информационных технологий, в том числе современных систем вычислительной гидродинамики, систем компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы) для решения проблем двигателей летательных аппаратов и энергетических установок.	ОЛР	ПЗ	ОЛР	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 обучающихся, 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 обучающегося 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 обучающимися отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного 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 28 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 – «Общие сведения об использовании ANSYS CFX для решения задач вычислительной газовой динамики», вторая КР – «Использование ANSYS CFX для решения задач вычислительной газовой динамики».

Типовые задания первой КР:

1. Типы задач вычислительной газовой динамики.
2. Основные уравнения, применяемые для расчета течения жидкости и газов.
3. Уравнения Навье-Стокса, неразрывности, энергии и основные методы их численного решения.
4. Особенности метода конечных объемов в ANSYS CFX.
5. Математические модели, применяемые для расчета турбулентных течений жидкости и газов.
6. Модели турбулентности применение и рекомендации.

Типовые задания второй КР:

1. Моделирование потоков с учетом сжимаемости.
2. Методы отображения и анализа результатов применительно к задачам вычислительной газовой динамики.
3. Настройки решателя. Схемы адвекции и расчет турбулентности. Контроль сходимости. Временной масштаб.
4. Структура турбулентных течений. Подходы к моделирования турбулентности.
5. Решение задач турбомашиностроения (осевого ротора-статора в ANSYS CFX).

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. Типы задач вычислительной газовой динамики.
2. Основные уравнения, применяемые для расчета течения жидкости и газов.
3. Уравнения Навье-Стокса, неразрывности, энергии и основные методы их численного решения.
4. Особенности метода конечных объемов в ANSYS CFX.
5. Математические модели, применяемые для расчета турбулентных течений жидкости и газов.
6. Модели турбулентности применение и рекомендации.
7. Основные модели турбулентности. k-epsilon, k-omega, SST, модели моделирования вихрей.
8. Турбулентность в пристеночном слое. Параметр y^+ и пристеночные функции.
9. Моделирование потоков с учетом сжимаемости.
10. Методы отображения и анализа результатов применительно к задачам вычислительной газовой динамики.
11. Настройки решателя. Схемы адвекции и расчет турбулентности. Контроль сходимости. Временной масштаб.
12. Структура турбулентных течений. Подходы к моделированию турбулентности.
13. Решение задач турбомашиностроения (осевого ротора-статора в ANSYS CFX).

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.
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.