

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 » мая 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Численное моделирование процессов, протекающих в
газотурбинных двигателях
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 108 (3)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов
(код и наименование направления)

Направленность: Проектирование и конструкция авиационных двигателей и
энергетических установок
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины:

Формирование системы знаний, умений и навыков для профессиональной научно-исследовательской деятельности в области проведения вычислительных экспериментов гидрогазодинамических процессов.

В процессе изучения данной дисциплины студент осваивает следующие профессиональные компетенции:

- способностью проводить технические расчёты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектируемых изделий и конструкций;

Задачи учебной дисциплины:

- изучение программных комплексов и методов моделирования гидрогазодинамических процессов;
- формирование умения постановки задачи гидрогазодинамического расчета;
- формирование навыков построения сеточных моделей объекта гидрогазодинамического исследования, использования современного программного обеспечения для проведения расчетов процессов гидрогазодинамики, обработки результатов расчетов процессов гидрогазодинамики;

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Современные программные комплексы для подготовки, проведения и обработки результатов газодинамических расчетов;

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-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знать современные программные средства, используемые для проведения гидродинамических и газодинамических расчетов; Знать современные программные средства для построения сеточных моделей расчетных областей;	Знает основы проведения экспериментальных работ и теоретические основы рабочих процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов	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
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Уметь выполнять тестовые численные расчеты гидро и газодинамических процессов; Уметь проводить анализ численных результатов проведенных гидро и газодинамических расчетов;	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для обработки результатов экспериментов и испытаний, моделирования рабочих процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов и их агрегатах	Защита лабораторной работы
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеть практическими навыками по проведению расчетов гидро- и газодинамики	Владеет навыками постановки исследовательских (расчётно-теоретических и экспериментальных) задач; планирования и проведения вычислений, экспериментов и испытаний; анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по двигателям и энергетическим установкам летательных аппаратов	Защита лабораторной работы
ПК-1.5	ИД-1ПК-1.5	Знать теоретические основы рабочих процессов, протекающих в газотурбинных двигателях авиационного или наземного назначения	Знает теоретические основы рабочих процессов в лопаточных машинах двигателей летательных аппаратов	Защита лабораторной работы
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Уметь пользоваться современными суперкомпьютерными технологиями для моделирования рабочих процессов в газотурбинных двигателях авиационного или наземного назначения	Умеет пользоваться современными суперкомпьютерными технологиями для моделирования рабочих процессов в лопаточных машинах двигателей летательных аппаратов	Защита лабораторной работы
ПК-1.5	ИД-3ПК-1.5	Владеть навыками постановки исследовательских задач, планирования и проведения вычислений,	Владеет навыками постановки исследовательских задач, планирования и проведения вычислений,	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
		анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при газотурбинных двигателях авиационного или наземного назначения	анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании лопаточных машин двигателей летательных аппаратов	
ПК-2.2	ИД-1 ПК-2.2	Знать методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов в лопаточных газотурбинных двигателях авиационного или наземного назначения	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов	Курсовая работа
ПК-2.2	ИД-2 ПК-2.2	Уметь проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты процессов, протекающих в газотурбинных двигателях авиационного и наземного назначения с использованием аналитических и численных методов исследования	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования	Курсовая работа
ПК-2.2	ИД-3 ПК-2.2	Владеть навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов, протекающих в газотурбинных двигателях авиационного и наземного назначения с использованием аналитических и численных методов исследования имплементируемых современными программными средствами, а также анализа полученных результатов для принятия технических решений	Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений	Курсовая работа

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	28	28	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)	8	8	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	44	44	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	108	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
1-й семестр				
Обзор существующих численных моделей для решения задач гидрогазодинамики	6	2	0	14
Тема 1. Основные уравнения гидрогазодинамики. Уравнения Эйлера. Уравнения Лагранжа. Уравнения Навье - Стокса. Тема 2. Моделирование ламинарного течения жидкости и газа. Основные уравнения Навье - Стокса. Модели турбулентности. Тема 3. Модели турбулентного течения газа. Гипотеза турбулентной вязкости. Тензор Рейнольдсовых напряжений. Алгебраическая модель Рейнольдсовых напряжений. Тема 4. Методы численного решения прикладных задач газотурбостроения. Метод конечных разностей. Метод распада произвольного разрыва. Метод крупных частиц.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Применение существующих численных методов моделирования задач гидрогазодинамики в современных вычислительных программных пакетах.	6	2	0	14
Тема 5. Типы конечно элементных сеточных моделей применяемых при газодинамических расчетах узлов газотурбинных двигателей. Понятие сеточной модели. Структурированная и неструктурированная сеточная модель. O-grid сетки. Методы построения структурированных и неструктурированных сеточных моделей. Тема 6. Граничные и начальные условия газодинамических расчетов узлов газотурбинных двигателей. Типы граничных условий. Граничные условия прилипания. Граничные условия не протекания. Тема 7. Обзор коммерческих программных пакетов используемых для решения задач гидрогазодинамики. ANSYS CFX. ICEM CFD. Fluent. Poly Flow.				
Решение частных задач гидрогазодинамики с применением коммерческих программных пакетов.	6	4	0	16
Тема 8. Моделирование смешения потоков в статическом миксере. Постановка задачи. Задание граничных условий в Ansys CFX. Требования к конечно элементной модели и качеству сеточной модели. Настройки параметров решателя в Ansys CFX. Обработка результатов расчета в Ansys CFX. Тема 9. Верификация математической модели течения Пуазейля-Хагена. Постановка задачи. Построение геометрической и сеточной модели расчетной области. Требования к граничным условиям. Аналитическое решение для определения профиля скорости течения Пуазейля - Хагена. Верификация математической модели по известному аналитическому решению. Тема 10. Построение структурированных сеточных моделей расчетных областей сложной конфигурации. Требования предъявляемые к O-grid сеточным моделям при решении задач гидрогазодинамики. Построение сеточной модели с помощью программного комплекса ICEM CFD. Тема 11. Численное моделирование турбулентного диффузионного горения метана с учетом теплообмена излучением в камере сгорания газотурбинного двигателя. Постановка задачи. Выбор модели турбулентного течения газа. Выбор математической модели диффузионного горения. Расчет библиотек химической кинетики горения в CFX. Моделирование процессов радиационного излучения газа. Настройка спектральной модели теплообмена излучением в CFX. Обработка				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
результатов расчета.				
ИТОГО по 1-му семестру	18	8	0	44
ИТОГО по дисциплине	18	8	0	44

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Исследование применимости методов численного моделирования для решения задач гидрогазодинамики
2	Исследование технологий расчета ламинарного течения в цилиндрическом канале
3	Исследование влияния моделей турбулентности на расчетное поле скорости при обтекании потоком воздуха произвольного тела
4	Исследование влияния типа сеточной модели на расчетное поле скорости при обтекании потоком воздуха произвольного тела
5	Построение неструктурированных сеточных моделей для объемов сложной конфигурации
6	Исследование влияния циклически симметричных граничных условий на поле скоростей в полной и редуцированной модели течения сопла
7	Исследования применимости различных программных пакетов для решения задач гидрогазодинамики
8	Моделирование смешения потоков в статическом миксере- 6 часов

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Численное моделирование газодинамических процессов, протекающих в ступени лопаточных машин

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.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

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 практическим занятиям, 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	Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов : учебное пособие для вузов / Головизнин В. М., Зайцев М. А., Карабасов С. А., Короткин И. А. Москва : Изд-во МГУ, 2013. 467 с., 4 л. ил. 38,05 усл. печ. л.	35
2. Дополнительная литература		

2.1. Учебные и научные издания		
1	Вычислительные методы в динамике жидкостей. Методы расчета различных течений. Москва : Мир, 1991. 552 с.	13
2	Вычислительные методы в динамике жидкостей. Основные положения и общие методы. М. : Мир, 1991. 504 с.	13
3	Егоров М. Ю. Методы численного решения прикладных задач. Метод Давыдова (метод крупных частиц) : учебное пособие. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2001. 19 с.	22
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	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника	http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/	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	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
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	https://www.scopus.com/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Springer Nature e-books	http://link.springer.com/ http://jwww.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.com/
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
Курсовая работа	Персональные компьютер, ауд. 203, к. Г	15
Лабораторная работа	Персональные компьютер, ауд. 211, к. Г	6
Лабораторная работа	Разрезные макеты авиационных двигателей различных типов и их составных частей; охлаждаемые лопатки турбин и жаровые трубы камеры сгорания, ауд. 109, к. Г	17
Лекция	Лекционная аудитория, ауд. 201, к. Г	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе