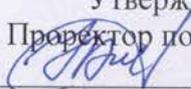


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра Авиационной теплотехники и теплоэнергетики

Утверждаю
Проректор по учебной работе

Н.Г. Зарипов
« 01 » 09 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ»

Уровень подготовки: высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура)

24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника
(код и наименование направления подготовки)

Направленность подготовки

Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов
(наименование программы подготовки)

Квалификация (степень) выпускника

"Исследователь. Преподаватель-исследователь"

Форма обучения

Очная

Уфа 2015

Содержание

1.	Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	3
2.	Перечень результатов обучения.....	5
3.	Содержание и структура дисциплины (модуля).....	9
4.	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.....	11
5.	Фонд оценочных средств.....	12
6.	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).	15
7.	Образовательные технологии.....	16
8.	Методические указания по освоению дисциплины.....	16
9.	Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	18
10.	Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ.....	18
	Лист согласования рабочей программы дисциплины.....	19
	Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины.....	20

1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ» является обязательной дисциплиной вариативной части (Блок 1).

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура) 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от "30" июля 2014 г. № 890 и приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.04.2015 N 464 "О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)". Является неотъемлемой частью основной образовательной профессиональной программы (ОПОП).

Целью освоения дисциплины является:

- формирование у аспирантов знаний, умений и навыков владения, необходимых для решения задач, связанных с расчётами теплового состояния различных элементов проточной части авиационных двигателей и энергетических установок на их базе, моделированию процессов тепло- и массообмена в различных элементах;
- формирование способностей применять на практике тепловые расчеты отдельных систем и устройств;
- формирование способностей к организации работы небольшого коллектива работников для решения задач в сфере своей профессиональной деятельности;
- формирование способностей решать научные или инженерно-технические задачи в сфере своей профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование у аспирантов системы знаний по основным методикам оценки теплового состояния основных элементов проточной части авиационных двигателей;
- формирование у аспирантов знаний и умений по формулированию и постановке задач дисциплины, выбору и использованию соответствующих законов и формул, способностей к организации работы небольшого коллектива работников для решения задач в сфере своей профессиональной деятельности;
- формирование у аспирантов способностей и навыков проведения расчетов, анализа и интерпретации результатов расчетов, способностей применять на практике методы определения теплового состояния отдельных систем и устройств авиационных двигателей и энергетических установок;
- формирование у аспирантов убежденности в необходимости непрерывного обучения при работе по специальности, уверенности в своих силах и возможностях;
- развитие у аспиранта системного логического мышления, способности решить поставленную исследовательскую задачу.

Предшествующими дисциплинами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ», являются «История и философия науки», «Методика работы над литературными источниками», «Иностранный язык», «Психология и педагогика»

«Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ» использует математический аппарат, физические понятия о свойствах жидкостей, газов и различных сталей и сплавов, знания законов тепло- и массообмена при моделировании теплового состояния различных элементов конструкции двигателей летательных аппаратов и энергетических установок на их базе.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Математическое моделирование

теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ», необходимы для дальнейшего обучения аспирантов, для исследования тепловых полей в конструкции при проведении самостоятельных исследований, для определения запасов прочности элементов конструкции и расчёта их ресурса.

Входные компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований, сформировавших данную компетенцию
1.	Способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	УК-1	Базовый уровень	История и философия науки, Методика работы над литературными источниками.
2.	Способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	УК-2	Базовый уровень	История и философия науки
3.	Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	УК-3	Повышенный уровень	Иностранный язык
4.	Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках	УК-4	Повышенный уровень	Иностранный язык
5.	Способностью следовать этическим нормам в профессиональной деятельности	УК-5	Повышенный уровень	Психология и педагогика
6.	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования	ОПК-4	Повышенный уровень	Психология и педагогика

Исходящие компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований для
---	-------------	-----	---------------------------------------	--

			формирования компетенции	которых данная компетенция является входной
1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	УК-1	Повышенный уровень	Научные исследования Педагогическая практика
2	Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	УК-2	Повышенный уровень	Научные исследования
3	Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	УК-3	Повышенный уровень	Научно-исследовательская практика
4	Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	УК-6	Повышенный уровень	Научные исследования Педагогическая практика
5	Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники	ОПК-1	Повышенный уровень	Научно-исследовательская практика
6	Готовность к использованию аппарата теории подобия и аналогии физических процессов и его применения к установлению закономерностей их протекания, а также при проведении аналитического и опытного исследования	ПК-2	Повышенный уровень	Научно-исследовательская практика Научные исследования Педагогическая практика

2. Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

Планируемые результаты обучения по дисциплине

№	Формируемые компетенции	Код	Знать	Уметь	Владеть
1	Способность к	УК-1	Стадий работы над	Работать с	Навыками сбора,

	критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях		литературными источниками различные методы работы с литературными источниками; стандарты оформления библиографического списка. Методы группировки по однородным признакам информации из литературного источника, для использования в процессе исследования.	электронными библиотечными системами как отечественными, так и зарубежными, Пользоваться системами цитирования. Проводить первичный обзор литературы, отобранной из библиотечных каталогов, знакомиться с аннотацией, введением, оглавлением, заключением и беглым просмотром содержания; избирать способ проработки источника, включающий тщательное его изучение, конспектирование, выборочное изучение, сопровождающееся выписками, составлением аннотированных карточек; работать с профессиональным базам данных и информационным справочным системам	изучение и обработки информации, Навыками библиографического поиска, накоплением и обработкой научной информации, работы с электронными библиотечными системами, работы с электронными ресурсами университета.
2	Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний	УК-2	научную картину мироздания, динамику научно-технического развития в широком социокультурном контексте, о многообразии форм человеческого знания, о соотношении истины и заблуждения, знания и веры, рациональ-	использовать методологии и методы научного исследования, а также логико-понятийный аппарат философии для анализа закономерностей бытия и познания окружающей действительности; анализировать особенности развития	-научной и философской терминологией; навыками работы с первоисточниками, их использования при написании реферата и подготовке к учебным занятиям;

	в области истории и философии науки		ного и иррационального в человеческой деятельности, об особенностях функционирования научного знания в современном обществе, о духовных ценностях, их значении в научном творчестве; роль науки в развитии цивилизации, соотношение науки и техники и связанные с ними современные социальные и этические проблемы, ценность научной рациональности и ее исторических типов, структуру, формы и методы научного познания, их эволюцию; смысл отношения человека к природе и возникающих в современную эпоху научно-технического развития противоречий; основные этапы исторического развития науки, естественнонаучные предпосылки важнейших философских концепций, историю и философию науки; общественные закономерности развития, социальную и политическую систему общества и тенденции их изменения.	науки в различные эпохи и проводить их сравнение применять критический подход и оценку при анализе научных гипотез и предположений.	
3	Готовность участвовать в	УК-3	Методов работы в научных коллекти-		участия в работе российских и

	работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач		вах		международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
4	Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	УК-6		Планировать и решать задачи собственного профессионального роста в области авиационной и ракетно-космической техники	
5	Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники	ОПК-1	методы теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники		Применения методологий теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники
6	Готовность к использованию аппарата теории подобия и аналогии физических процессов и его применения к установлению закономерностей их протекания, а также при проведении аналитического и опытного исследования	ПК-2	условия устойчивости равновесия гомогенных и гетерических термодинамических систем; термические и калорические свойства твердых, жидких и газообразных веществ; основы химической термодинамики; основные вопросы термодинамики необратимых процессов; математическое описание процессов диффузии и методы решения соответствующих краевых задач на основе линейной и нелинейной моде-	использовать закономерности равновесия и устойчивости при анализе исследуемого процесса; устанавливать термических и калорических свойств используемого в экспериментах веществ; формировать краевую задачу для диффузионного процесса; проводить математическое моделирование диффузионных процессов при наличии физико-химических переходов;	условия устойчивости равновесия гомогенных и гетерических термодинамических систем; термические и калорические свойства твердых, жидких и газообразных веществ; основы химической термодинамики; основные вопросы термодинамики необратимых процессов; математическое описание процессов диффузии и методы решения соответствующих краевых задач на основе линейной и нелинейной моде-

			ли; математическое моделирование диффузионных процессов при наличии физико- химических пере- ходов		ли; математическое моделирование диффузионных процессов при наличии физико- химических пере- ходов
--	--	--	---	--	---

3. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 часов).

Трудоемкость дисциплины по видам работ

Вид работы	Трудоемкость, час.
	4 семестр
Лекции (Л)	4
Практические занятия (ПЗ)	6
Лабораторные работы (ЛР)	-
КСР	-
Курсовая проект работа (КР)	-
Расчетно - графическая работа (РГР)	-
Самостоятельная работа (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	62
Подготовка и сдача экзамена	36
Подготовка и сдача зачета	-
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	экзамен

Содержание разделов и формы текущего контроля

№	Наименование и содержание раздела	Количество часов						Литература, рекомендуемая аспирантам	Виды интерактивных образовательных технологий
		Аудиторная работа				СРС	Всего		
		Л	ПЗ	ЛР	КСР				
1	Введение. Обзор современных программных комплексов для моделирования теплового состояния элементов конструкции.	0,5			-	7,0	7,5	Р. 6.1 №№1, 2 Р. 6.2 №1	Классическая лекция
2	Общая структура проведения численного математического моделирования.	1,0	0,5		-	7,0	8,5	Р. 6.1 № 3, 4	Классическая лекция с мультимедийным сопровождением
3	Математическая модель, используемая при расчёте. Возможные виды исследований.	1,0			-	11,0	12,0	Р. 6.2 №№1, 2	Классическая лекция
4	Построение 3D твёрдотельной геометрической модели исследуемого элемента конструкции.		1,0			3,0	4,0	Р. 6.3 №1	Работа в команде Кейс-задача
5	Построение конечно-элементной модели расчётной области.		1,0			4,0	5,0	Р. 6.3 №2	Кейс-задача
6	Назначение граничных условий, выбор модели турбулентности, модели переноса тепла, модели расчётной области, настройки решателя.	1,5	1,5			9,0	12,0	Р. 6.1 № 1, 2, 3, 4	Проблемная лекция с мультимедийным сопровождением Кейс-задача
7	Проведение решения. Различные методики распараллеливания вычислений. Анализ выдаваемых в процессе решения результатов. Оценка завершённости вычислений.		1,0			8,0	9,0	Р. 6.1 №№1, 2	Кейс-задача
8	Анализ результатов моделирования.		1,0			13,0	14,0	Р. 6.1 №№1, 2	Кейс-задача

Занятия, проводимые в интерактивной форме, составляют 50% от общего количества аудиторных часов по дисциплине «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ».

Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	2, 4, 5	Общая структура проведения численного математического моделирования. Построение 3D твёрдотельной геометрической модели исследуемого элемента конструкции. Построение конечно-элементной модели расчётной области.	2
2	5, 6	Построение конечно-элементной модели расчётной области. Назначение граничных условий, выбор модели турбулентности, модели переноса тепла, модели расчётной области, настройки решателя.	2
3	7, 8	Проведение решения. Различные методики распараллеливания вычислений. Анализ выдаваемых в процессе решения результатов. Оценка завершённости вычислений. Анализ результатов моделирования.	2

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Тема 1. Обзор современных программных комплексов для моделирования теплового состояния элементов конструкции.

Вопросы для самостоятельного изучения (подготовке к обсуждению):

1. История развития и причины возникновения программных комплексов CFD.
2. Наиболее эффективные и часто используемые программные комплексы для оценки теплового состояния элементов конструкции.
3. Соответствие различных программных комплексов и выдаваемыми ими результатов требованиям ГОСТ на оформление конструкторской документации.
4. Подготовленность программных комплексов для работы с PDM-системами.

Расчетные задания (задачи и пр.):

Тема 2. Общая структура проведения численного математического моделирования.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Структура программного комплекса ANSYS.
2. Особенности и область задач ANSYS Fluent.
3. Совместное решение задач гидрогазодинамики, теплообмена и прочностного анализа.

Расчетные задания (задачи и пр.):

1. Разработать структуру решения задачи для моделирования совмещённого теплообмена и деформации конструкции.

Тема 3. Математическая модель, используемая при расчёте. Возможные виды исследований.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Решение системы уравнений Навье-Стокса для частного случая.
2. Особенности расчёта нестационарных процессов.

Тема 4. Построение 3D твёрдотельной геометрической модели исследуемого элемента конструкции.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. CAD-системы для построения 3D твёрдотельных геометрических моделей расчётной области.
2. Упрощение геометрической модели.

Расчетные задания (задачи и пр.):

1. Построение геометрических моделей во встроенной в ANSYS CAD системе.

Тема 5. Построение конечно-элементной модели расчётной области.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Замена геометрической модели фасеточным телом.
2. Точность и время расчёта моделей с различными видами элементов (тетраэдры, гексаэдры, усечённые пирамиды и т.п.)
3. Особенности построения конечно-элементной сетки при моделировании лопаточных машин.
4. Особенности, достоинства и недостатки ICEM CFD.

Расчетные задания (задачи и пр.):

1. Построение различных вариантов конечно-элементных моделей на расчётной области.

Тема 6. Назначение граничных условий, выбор модели турбулентности, модели переноса тепла, модели расчётной области, настройки решателя.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Влияние граничных условий на сходимость решения и результаты расчётов.
2. Модели для расчёта переходных процессов.
3. Особенности моделирования лопаточных машин.

Расчетные задания (задачи и пр.):

1. Выбор основных моделей и назначение граничных условий для тестовой расчётной задачи.

Тема 7. Проведение решения. Различные методики распараллеливания вычислений. Анализ выдаваемых в процессе решения результатов. Оценка завершённости вычислений.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Влияние метода распараллеливания решения на время расчёта.

Расчетные задания (задачи и пр.):

1. Проведение расчёта тестовых задач с различными вариантами распараллеливания.
2. Вывод на экран различных результатов моделирования в процессе расчёта.

Тема 8. Анализ результатов моделирования.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Построение изоповерхности температур.
2. Анализ результатов моделирования нестационарных процессов.
3. Анализ результатов моделирования лопаточных машин.

Расчетные задания (задачи и пр.):

1. Анализ результатов моделирования тестовой задачи.

5. Фонд оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Наименование оценочного средства
1	Построение 3D твёрдотельной геометрической модели исследуемого элемента конструкции.	УК-2	Повышенный уровень	Контроль домашнего задания
		УК-1	Повышенный уровень	
2	Построение конечно-элементной модели расчёт-	УК-3	Повышенный уровень	Контроль домашнего задания

	ной области.	ОПК-1	Повышенный уровень	Экзамен
3	Анализ результатов моделирования.	ПК-2	Повышенный уровень	Контроль домашнего задания Экзамен
		УК-6	Повышенный уровень	

Вопросы к экзамену

1. История развития программных комплексов для 3D численного термогазодинамического моделирования.
2. Основные программные комплексы для 3D численного термогазодинамического моделирования и их особенности.
3. Общая структура проведения расчёта в программном комплексе ANSYS.
4. История развития и причины возникновения программных комплексов CFD.
5. Наиболее эффективные и часто используемые программные комплексы для оценки теплового состояния элементов конструкции.
6. Соответствие различных программных комплексов и выдаваемыми ими результатов требованиям ГОСТ на оформление конструкторской документации.
7. Подготовленность программных комплексов для работы с PDM-системами.
8. Параметризованное моделирование.
9. Структура программного комплекса ANSYS.
10. Особенности и область задач ANSYS Fluent.
11. Совместное решение задач гидрогазодинамики, теплообмена и прочностного анализа.
12. Решение системы уравнений Навье-Стокса для частного случая.
13. Особенности расчёта нестационарных процессов.
14. CAD-системы для построения 3D твёрдотельных геометрических моделей расчётной области.
15. Особенности встроенной CAD системы ANSYS.
16. Порядок действий при построении 3D твёрдотельной модели во встроенной CAD системы ANSYS.
17. Упрощение геометрической модели.
18. Порядок действий при построении конечно-элементной сетки.
19. Оценка параметров конечно-элементной сетки.
20. Построение структурированного призматического слоя.
21. Замельчение конечно-элементной сетки при помощи тела-инструмента.
22. Замена геометрической модели фасеточным телом.
23. Точность и время расчёта моделей с различными видами элементов (тетраэдры, гексаэдры, усечённые пирамиды и т.п.).
24. Особенности построения конечно-элементной сетки при моделировании лопаточных машин.
25. Особенности, достоинства и недостатки ICEM CFD.
26. Различные типы граничных условий в CFX-Pre.
27. Модели турбулентности в ANSYS CFX, их особенности, достоинства и недостатки.
28. Граничное условие «Интерфейс».
29. Модели рабочих тел в ANSYS CFX, их особенности, редактирование параметров.
30. Модели переноса тепла.
31. Моделирование лучистого теплообмена в элементах конструкции в ANSYS CFX.
32. Влияние граничных условий на сходимость решения и результаты расчётов.
33. Модели для расчёта переходных процессов.
34. Особенности моделирования лопаточных машин.
35. Влияние метода распараллеливания решения на время расчёта.
36. Построение векторного поля скоростей.
37. Построение температурного поля на элементах конструкции.

38. Оценка влияния размера конечно-элементной сетки на результаты моделирования. Параметр $Y+$.
39. Анализ параметров потока при помощи линий тока.
40. Построение графиков и экспорт результатов расчёта.
41. Построение изоповерхности температур.
42. Анализ результатов моделирования нестационарных процессов.
43. Анализ результатов моделирования лопаточных машин.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется аспиранту, если: 1) аспирант посетил все аудиторские занятия; 2) самостоятельная работа выполнена в полном объёме; 3) все принятые в работе решения математически и логически обоснованы; 4) ответ на вопрос на экзамене логичен и последователен; 5) на все заданные на экзамене вопросы получены ответы, оцененные «ответ правильный и полный»; 6) не более чем на 20% вопросов получены ответы, оцененные «ответ правильный, но не полный»;

- оценка «хорошо» выставляется аспиранту, если: 1) аспирант посетил менее 80% аудиторских занятий; 2) самостоятельная работа выполнена в полном объёме; 3) метод решения, модели или граничные условия в ходе решения поставленной домашней задачи выбраны недостаточно обоснованно; 4) некоторые (не основные) решения, принятые в работе, доказаны (обоснованы) неубедительно; 5) в процессе ответа на экзаменационный вопрос допустил непоследовательность; 6) не более чем на 40% вопросов получены ответы, оцененные «ответ правильный, но не полный»; 7) имеется не более 20% вопросов, на которые получен ответ, оцененный «ответ неправильный»;

- оценка «удовлетворительно» выставляется аспиранту, если: 1) аспирант посетил менее 60% аудиторских занятий; 2) самостоятельная работа выполнена на 80% и менее; 3) имеются несущественные отступления от задания на самостоятельную работу; 4) в процессе ответа на экзаменационный вопрос допустил непоследовательность и нелогичность; 5) более чем на 40% вопросов получены ответы, оцененные «ответ правильный, но не полный»; 6) имеется не более 30% вопросов, на которые получен ответ, оцененный «ответ неправильный»; 7) имеется не более 20% вопросов, на которые получен ответ, оцененный «нет ответа»;

- оценка «неудовлетворительно» выставляется аспиранту, если: 1) аспирант посетил менее 20% аудиторских занятий; 2) самостоятельная работа выполнена на 30% и менее; 3) выставляется, если не выполнены условия для выставления оценки «удовлетворительно».

Типовые оценочные материалы

В дисциплине «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ» предусмотрено решение домашней кейс задачи, в результате которой аспирант выполнит термогазодинамический расчёт совмещённого теплообмена лопатки турбины авиационного ГТД. Кейс-задача выдаётся минигруппе аспирантов (2 человека) для разделения труда и обучения работе в команде.

1. Кейс-задача

Раздел (тема) дисциплины: Построение 3D твёрдотельной геометрической модели исследуемого элемента конструкции.

Задание (я):

- во встроенной в ANSYS CAD системе построить модель течения газа вокруг рабочей (или сопловой – по заданию) лопатки турбины авиационного ГТД;
- во встроенной в ANSYS CAD системе построить модель рабочей (или сопроводительной – по заданию) лопатки турбины авиационного ГТД.

2. Кейс-задача

Раздел (тема) дисциплины: Построение конечно-элементной модели расчётной области.

Задание (я):

- во встроенном в ANSYS сеткопостроителе построить конечно-элементную сетку на модель газа или лопатки турбины авиационного ГТД;

3. Кейс-задача

Раздел (тема) дисциплины: Назначение граничных условий, выбор модели турбулентности, модели переноса тепла, модели расчётной области, настройки решателя. Проведение расчётов и анализ результатов моделирования.

Задание (я):

- в ANSYS CFX-Pre собрать расчётную модель (модель газа и лопатки), назначить граничные условия и расчётные модели согласно заданию;
- произвести расчёт в ANSYS CFX-Solver;
- проанализировать полученные результаты в в ANSYS CFX-Post. Построить поля температур на поверхности лопатки.

Критерии оценки за кейс-задачу выставляются по критериям соответствующим критериям оценки курса.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

6.1 Основная литература

1. Ахмедзянов, Д. А. Газодинамическое моделирование в программном комплексе ANSYS CFX и ANSYS WORKBENCH : методические указания к лабораторной работе по дисциплинам "Математические модели рабочих процессов авиационных двигателей и энергетических установок" и "САПР АД и ЭУ" / Д. А. Ахмедзянов, А. Е. Кишалов ; УГАТУ .— Уфа : УГАТУ, 2008 .— 46 с. : ил. ; 20 см .— (Кафедра авиационных двигателей) .— ISBN .

2. Термогазодинамическое моделирование авиационных двигателей и их элементов: Лабораторный практикум по дисциплине «Математическое моделирование авиационных двигателей и энергетических установок» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т.; Сост.: Д. А. Ахмедзянов, А. Е. Кишалов. – Уфа, 2012. – 90 с.

3. Решение задач стационарной теплопроводности в программе конечно-элементного анализа ANSYS : методические указания к лабораторной работе по дисциплинам "Прикладные задачи теплообмена" и "Компьютерные технологии в науке и производстве (теплоэнергетике)" / сост. В. М. Кудоярова ; ГОУ ВПО УГАТУ ; Кафедра авиационной теплотехники и теплоэнергетики .— Уфа : УГАТУ, 2011 .— 26 с. : ил. ; 20 см .— (Кафедра авиационной теплотехники и теплоэнергетики) .— Библиогр.: с. 26 (5 назв.) .— ISBN .

4. Решение задач нестационарной теплопроводности в программе конечно-элементного анализа ANSYS : методические указания к лабораторной работе по дисциплинам "Прикладные задачи теплообмена" и "Компьютерные технологии в науке и производстве (теплоэнергетике)" / сост. В. М. Кудоярова ; ГОУ ВПО УГАТУ ; Кафедра авиационной теплотехники и теплоэнергетики .— Уфа : УГАТУ, 2011 .— 21 с. : ил. ; 20 см .— (Кафедра авиационной теплотехники и теплоэнергетики) .— Библиогр.: с. 21 (5 назв.) .— ISBN .

6.2 Дополнительная литература

1. Официальный сайт ANSYS: <http://www.ansys.com/>
2. Клуб пользователей ANSYS: <http://cae-club.ru/forumy/gidrodinamika-i-teploobmen/ansys-cfx>

6.3. Интернет-ресурсы (электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

1. Басов, К. А. Графический интерфейс комплекса ANSYS [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей высших технических учебных заведений / К. А. Басов .— Москва : ДМК Пресс, 2008 .— 248 с. — Доступ по логину и паролю из сети Интернет.—ISBN 5-94074-074-X .—

<URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1290>.

2. Верхотуркин, Е. Ю. Интерфейс и генерирование сетки в ANSYS Workbench: учеб. пособие по курсу «Геометрическое моделирование в САПР» : / Верхотуркин Е.Ю., Пащенко В.Н., Пясецкий В.Б. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2013. — ISBN 978-5-7038-3691-0. —

<URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58419>.

7. Образовательные технологии

№	Наименование	Доступ, количество одновременных пользователей	Реквизиты договоров с правообладателями
Программного продукта			
1	ANSYS CFX 13.0		

8. Методические указания по освоению дисциплины

8.1 Тематические планы занятий

8.1.1. Лекционные занятия

В первой лекции объясняется положение дисциплины, её значимость, структура, излагаются основные понятия и определения. Описываются цели и задачи дисциплины. Приводится краткий обзор современных программных комплексов для моделирования теплового состояния элементов конструкции. Излагается общая структура проведения численного математического моделирования. Объясняются математические модели, заложенные в ANSYS.

Во второй лекции рассматриваются виды исследований, которые можно произвести при помощи программного комплекса ANSYS CFX. Описываются различные типы граничных условий. Обсуждаются основные модели, используемые при моделировании..

8.1.2. Практические занятия

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	2, 4, 5	Общая структура проведения численного математического моделирования. Построение 3D твёрдотельной геометрической модели исследуемого элемента конструкции. Построение конечно-элементной модели расчётной области.	2
2	5, 6	Построение конечно-элементной модели расчётной области. Назначение граничных условий, выбор модели турбулентности, модели переноса тепла, модели расчётной области, настройки решателя.	2
3	7, 8	Проведение решения. Различные методики распараллеливания вычислений. Анализ выдаваемых в процессе решения результатов. Оценка завершенности вычислений. Анализ результатов моделирования.	2

На первом практическом занятии при работе за компьютером изучается общая структура проведения численного математического моделирования. Приобретаются навыки построения 3D твёрдотельной геометрической и конечно-элементной модели расчётной области (ANSYS Design Modeler и Meshing).

На втором практическом занятии при работе за компьютером закрепляются навыки построения конечно-элементной модели расчётной области (ANSYS Meshing) и приобретаются навыки назначения граничных условий, выбора модели турбулентности, модели переноса тепла, модели расчётной области, настройки решателя в ANSYS CFX-Pre.

На третьем практическом занятии при работе за компьютером приобретаются навыки проведение решения в ANSYS CFX-Solver и обработки результатов моделирования в ANSYS CFX-Post.

8.2. Указания по планированию времени, отведенного на изучение дисциплины

По учебной программе дисциплины «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ» предусмотрено 4 часа лекций, 6 часов практических занятий, 62 часа самостоятельной работы аспирантов. Форма контроля знаний аспирантов – экзамен.

Дисциплина «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ» является дисциплиной вариативной части обязательных дисциплин (Блок 1). Знания и умения, формируемые у аспирантов в результате изучения дисциплины используются при изучении последующих дисциплин и являются составной частью компетентностных качеств аспиранта в его последующей профессиональной деятельности. Поэтому дисциплине следует выделять время в полном объеме, самостоятельно готовиться к лекционным и практическим занятиям.

8.3. Указания по работе с литературой, конспектами лекций и учебно-методическими изданиями

На первом лекционном занятии преподаватель выдаёт список рекомендованной литературы аспирантам. По ходу обучения на лекционных и практических занятиях преподаватель указывает какие разделы тематики необходимо изучить самостоятельно.

Рекомендуется при изучении теоретического материала вести его краткий конспект, который впоследствии пригодится при подготовке к экзамену.

Работа с рекомендованной преподавателем литературой при подготовке к практическим занятиям может заключаться в подготовке краткого конспекта теоретической части выполняемой практической работы.

8.4. Указания по подготовке к лабораторным, практическим занятиям, составлению докладов, выступлений и выполнению других видов учебной работы

Подготовка к практическим занятиям по рекомендованной преподавателем литературе может заключаться в повторении теоретической части, в решении практических задач, заданных для самостоятельного решения.

8.5. Организация самостоятельной работы аспирантов

В связи с ограниченным количеством отведённых на дисциплину аудиторных занятий, большое значение придаётся самостоятельной работе аспирантов. Самостоятельная работа необходима для закрепления знаний аспирантами полученных на лекционных и практических занятиях. Учебной программой дисциплины предусмотрено выполнение аспирантами домашней самостоятельной работы в виде решения блока кейс-задач, в результате выполнения которой аспирант выполняет расчёт совмещённого теплообмена лопатки турбины двигателя летательного аппарата.

8.5.1. Работа над лекциями

По теме «Введение. Обзор современных программных комплексов для моделирования теплового состояния элементов конструкции» аспиранты повторяют лекционный материал, читают рекомендованную литературу, изучают информацию по различным программным комплексам для моделирования теплового состояния элементов конструкции.

По теме «Общая структура проведения численного математического моделирования» аспиранты изучают структуру решения поставленной задачи, изучают различные системы входящие в программный комплекс ANSYS.

По теме «Математическая модель, используемая при расчёте. Возможные виды исследований» аспиранты изучают различные математические модели, применяемые при решении различных задач. Знакомятся с возможностями программного продукта ANSYS.

По теме «Назначение граничных условий, выбор модели турбулентности, модели переноса тепла, модели расчётной области, настройки решателя» аспиранты изучают различные математические модели, настраиваемые в ANSYS CFX-Pre.

8.5.2. Подготовка к практическим занятиям

При подготовке к практическим работам необходимо изучить лекционный материал по данным темам и рекомендованную литературу. В ходе практических занятий аспиранты на практике осваивают методику работы с программным комплексом ANSYS CFX при определении теплового состояния различных элементов конструкции.

8.5.3. Выполнение самостоятельной работы

В дисциплине предусмотрено выполнение домашней самостоятельной работы. Работа состоит из блока кейс-задач (3 шт.). Каждая кейс-задача выдаётся минигруппе аспирантов (2 человека). В зависимости от задания каждый аспирант выполняет свою часть работы – моделирование конструкции, приближённой к конструкции турбины авиационного ГТД (рабочая или сопловая лопатка) с параметрами, приближёнными к параметрам в проточной части исследуемого двигателя. Каждый аспирант выполняет свою часть работы (по кейс-задачам 1 и 2), при решении кейс-задачи 3 работы обоих аспирантов подгружаются в одну модель в ANSYS CFX-Pre и проводится моделирование совмещённого теплообмена.

8.6. Указания по самоконтролю и подготовке к контрольному тестированию

При самоконтроле аспиранта знаний и умений аспирант должен дать развёрнутый ответ на каждый из выданных преподавателем вопросов в объёме лекционного материала и разделов отведённых на самоподготовку. При недостатке информации для развёрнутого ответа по некоторым вопросам можно прибегать к помощи рекомендованных учебников и лабораторных практикумов.

8.7. Указания по подготовке к экзамену

При подготовке к экзамену рекомендуется на основе лекционного материала, рекомендованных учебниках, учебных пособиях, методических указаний и лабораторных практикумов подготовить краткий письменный ответ на каждый из вопросов на экзамене.

Особое внимание следует уделять темам на самостоятельную проработку, так как их правильное понимание контролируется только на экзамене и может не соответствовать требованиям, предъявляемым преподавателем к данным темам.

Данные письменные ответы помогут кратко сформулировать необходимые ответы на экзамене, позволят потренироваться перед письменным ответом на экзаменационный билет. При такой форме подготовке к экзамену в процессе запоминания дополнительно участвуют зрительные разделы памяти и разделы, отвечающие за механическое письмо, таким образом, материал дисциплины усваивается лучше.

Следует помнить, что данные письменные ответы и конспекты необходимы только на стадии подготовки к экзамену, а на самом экзамене за их использование могут быть снижены экзаменационные оценки и могут быть применены другие репрессивные меры.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционные занятия: электронный конспект лекций, учебные кинофильмы в компьютерном классе, проектор (ауд. 2-101, 2-106а, 2-302).

Практические занятия: компьютерный класс, подключенный к сети Интернет, с установленным требуемым лицензионным программным обеспечением (ауд. 2-302, 2-510).

10. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ

согласования рабочей программы

Направление подготовки: 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника
код и наименование

Направленность подготовки (программа): Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов
наименование

Дисциплина: «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ»

Учебный год 2015/2016

РЕКОМЕНДОВАНА заседанием кафедры АТиТ
наименование кафедры

протокол № 40 от "28" 05 2015 г.
Заведующий кафедрой Ф.Г. Бакиров
подпись расшифровка подписи

Исполнитель
А.Е. Кишалов
канд. техн. наук, доцент должность подпись расшифровка подписи дата

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой А.С. Гишваров
АД личная подпись расшифровка подписи дата
наименование кафедры

Председатель НМС по УГСН 240000 Д.А. Ахмедзянов
протокол № 2 от "01" 02 2015 г.
Ахмедзянов Д.А.
личная подпись расшифровка подписи

Библиотека Д.А. Ахмедзянов
личная подпись расшифровка подписи дата

Начальник отдела аспирантуры Фаттахов Р.К.
личная подпись расшифровка подписи дата

Рабочая программа зарегистрирована в ООПМА и внесена в электронную базу данных

Начальник Лакман И.А.
личная подпись расшифровка подписи дата

**Дополнения и изменения в рабочей программе учебной дисциплины
на 2015/2016 уч. год**

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета АДЭТ

_____ Д.А.Ахмедзянов

« ____ » _____ 2015 г.

В рабочую программу по дисциплине «Математическое моделирование теплового состояния элементов и узлов ДЛА и ЭУ»

для направления подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура)

24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника

направленность (программа) Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

вносятся следующие изменения:

1. Изменений нет.

ПЕРЕСМОТРЕНА на заседании кафедры АТ и Т
протокол № _____ от " ____ " _____ 2015 г.

Заведующий кафедрой _____ Ф.Г. Бакиров

Научный руководитель программы _____
подпись _____ расшифровка подписи _____

ОДОБРЕНА на заседании НМС по УГСН _____

протокол № _____ от " ____ " _____ 20__ г.

Председатель _____
личная подпись _____ расшифровка подписи _____

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой АД _____ А.С. Гишваров _____
дата _____

Библиотека _____
личная подпись _____ расшифровка подписи _____ дата _____

Дополнения и изменения внесены в базу данных рабочих программ дисциплин

Начальник ООПМА _____ И.А. Лакман _____
дата _____