

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»

Институт (факультет) **Институт авиации, наземного транспорта и энергетики**
(наименование института, в состав которого входит кафедра, ведущая дисциплину)

Кафедра **Реактивных двигателей и энергетических установок**
(наименование кафедры, ведущей дисциплину)

Регистрационный № 1130.2/41

АННОТАЦИЯ
к рабочей программе
дисциплины (модуля)
«Численное моделирование реагирующих потоков»

Индекс по учебному плану: **Б1.В.ДВ.02.02**

Направление подготовки: **24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов»**

Квалификация: **магистр**

Магистерская программа: **Ракетные двигатели на твердом топливе**

Виды профессиональной деятельности: **научно-исследовательская;**
проектно-конструкторская

Разработана доцентом кафедры РДЭУ, к.т.н. А.Н. Сабирзяновым

Казань 2017 г.

РАЗДЕЛ 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И КОНЕЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1 Цель изучения дисциплины (модуля)

Основной целью изучения дисциплины является получение будущими магистрами необходимых сведений о содержании и особенностях современных численных методов, применяемых для решения задач газовой динамики и теплообмена.

1.2 Задачи дисциплины (модуля)

Основными задачами дисциплины являются:

- ознакомление с общими свойствами численных методов;
- изучение метода конечных разностей и конечных объемов для дифференциальных уравнений в частных производных;
- ознакомление с современными подходами к решению задач турбулентного течения;
- расширение, углубление и закрепление теоретических знаний и сочетание теории с практикой достигается при выполнении практических занятий в учебных аудиториях кафедры, а также в период подготовки магистерской диссертации.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОП ВО

Дисциплина «Численное моделирование реагирующих потоков» входит в состав Вариативного модуля Блока 1 дисциплин по выбору.

1.4 Объем дисциплины (модуля) (с указанием трудоемкости всех видов учебной работы)

Таблица 1

Объем дисциплины (модуля) для очной формы обучения

Виды учебной работы	Общая трудоемкость		Семестр:	
	в ЗЕ	в час	1	
			в ЗЕ	в час
Общая трудоемкость дисциплины (модуля)	4	144	4	144
<i>Аудиторные занятия</i>	<i>2/3</i>	<i>24</i>	<i>2/3</i>	<i>24</i>
Лекции				
Лабораторные работы	1/3	12	1/3	12
Практические занятия	1/3	12	1/3	12
Самостоятельная работа студента	10/3	120	10/3	120
Проработка учебного материала	7/3	84	7/3	84
Курсовой проект				
Курсовая работа				
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	1	36
Промежуточная аттестация:	экзамен			

1.5 Планируемые результаты обучения

Таблица 2

Формируемые компетенции

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)	Уровни освоения составляющих компетенций		
	Пороговый	Продвинутый	Превосходный
1	2	3	4
<i>ОК-2 – способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности</i>			
Знание -основ численных методов линейной алгебры, проблемы собственных значений, методов численной аппроксимации функций, алгоритмов решения нелинейных уравнений и систем; методов анализа и обобщения полученных данных	Знание основ численных методов линейной алгебры, проблемы собственных значений, методов численной аппроксимации функций, алгоритмов решения нелинейных уравнений и систем	Знание основ численных методов линейной алгебры, проблемы собственных значений, методов численной аппроксимации функций, алгоритмов решения нелинейных уравнений и систем; методов анализа данных	Знание основ численных методов линейной алгебры, проблемы СОБСТВЕННЫХ значений, методов численной аппроксимации функций, алгоритмов решения нелинейных уравнений и систем; методов анализа и обобщения полученных данных
Умение - использовать численные методы линейной алгебры, методы численной аппроксимации функций, алгоритмы решения нелинейных уравнений и систем; методы анализа и обобщения полученных данных; оценивать погрешности численных решений	Умение использовать численные методы линейной алгебры, методы численной аппроксимации функций, алгоритмы решения нелинейных уравнений и систем	Умение использовать численные методы линейной алгебры, методы численной аппроксимации функций, алгоритмы решения нелинейных уравнений и систем; методы анализа и обобщения полученных данных	Умение использовать численные методы линейной алгебры, методы численной аппроксимации функций, алгоритмы решения нелинейных уравнений и систем; методы анализа и обобщения полученных данных; оценивать погрешности численных решений для различных методов
Владение - численными методами линейной алгебры, методами численной аппроксимации функций, алгоритмами решения нелинейных уравнений и систем; методами анализа и обобщения полученных данных; методами оценки погрешности численных решений	Владение численными методами линейной алгебры, методами численной аппроксимации функций, алгоритмами решения нелинейных уравнений и систем; методами анализа и обобщения полученных данных	Владение численными методами линейной алгебры, методами численной аппроксимации функций, алгоритмами решения нелинейных уравнений и систем; методами анализа и обобщения полученных данных; методами оценки погрешности численных решений	Владение численными методами линейной алгебры, методами численной аппроксимации функций, алгоритмами решения нелинейных уравнений и систем; методами анализа и обобщения полученных данных; методами оценки погрешности численных решений; навыками реализации вычислительных алгоритмов на ЭВМ
<i>ОК- 6 – способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности</i>			
Знание - основных современных прикладных программ для создания геометрии объекта; способов представлять расчетные результаты в графическом виде и методов вычислений интегральных характеристик	Знание основных современных прикладных программ для создания геометрии объекта; способов представлять расчетные результаты в графическом виде и методов вычислений интегральных характеристик	Знание основных современных прикладных программ для создания геометрии объекта; способов представлять расчетные результаты в графическом виде и методов вычислений интегральных характеристик в смежных областях знаний	Знание основных современных прикладных программ для создания геометрии объекта; способов представлять расчетные результаты в графическом виде и методов вычислений интегральных характеристик в смежных областях знаний, а также новых областях знаний

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<p>Умение</p> <p>- применять современные прикладные программы для создания геометрии объекта; способы представления расчетных результатов в графическом виде и методы вычислений интегральных характеристик</p>	<p>Умение применять современные прикладные программы для создания геометрии объекта; способы представления расчетных результатов в графическом виде и методы вычислений интегральных характеристик</p>	<p>Умение применять современные прикладные программы для создания геометрии объекта; способы представления расчетных результатов в графическом виде и методы вычислений интегральных характеристик в смежных областях знаний</p>	<p>Умение применять современные прикладные программы для создания геометрии объекта; способы представления расчетных результатов в графическом виде и методы вычислений интегральных характеристик в смежных областях знаний, а также новых областях знаний</p>
<p>Владение</p> <p>- навыками выбора современных прикладных программ для создания геометрии объекта; оптимальных способов представлять расчетные результаты в графическом виде и методов вычислений интегральных характеристик</p>	<p>Владение навыками выбора современных прикладных программ для создания геометрии объекта; оптимальных способов представлять расчетные результаты</p>	<p>Владение навыками выбора современных прикладных программ для создания геометрии объекта; оптимальных способов представлять расчетные результаты в графическом виде и методов вычислений интегральных характеристик в смежных областях знаний</p>	<p>Владение навыками выбора современных прикладных программ для создания геометрии объекта; оптимальных способов представлять расчетные результаты в графическом виде и методов вычислений интегральных характеристик в смежных областях знаний, а также новых областях знаний</p>
<p><i>ПК-4 – способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности</i></p>			
<p>Знание</p> <p>- основных физических законов, уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также моделей турбулентности</p>	<p>Знание основных физических законов, уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности</p>	<p>Знание основных физических законов, уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности; видов граничных условий, методов аппроксимации</p>	<p>Знание основных физических законов, уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности; видов граничных условий, методов аппроксимации и методов решения</p>
<p>Умение</p> <p>- применять основные физические законы, уравнения переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности; различные граничные условия, методы аппроксимации и методы решения</p>	<p>Умение применять основные физические законы, уравнения переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности; различные граничные условия</p>	<p>Умение применять основные физические законы, уравнения переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основные модели турбулентности; различные граничные условия и методы аппроксимации</p>	<p>Умение применять основные физические законы, уравнения переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основные модели турбулентности; различные граничные условия, методы аппроксимации и методы решения</p>
<p>Владение</p> <p>- навыками выбора для математической модели уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности с постановкой граничных условий, выбором метода аппроксимации</p>	<p>Владение навыками выбора для математической модели уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности</p>	<p>Владение навыками выбора для математической модели уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности с постановкой граничных условий, выбором метода аппроксимации</p>	<p>Владение навыками выбора для математической модели уравнений переноса импульса, энергии, состояния газа, неразрывности, а также основных моделей турбулентности с постановкой граничных условий, выбором метода аппроксимации и метода решения</p>

РАЗДЕЛ 2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) И ТЕХНОЛОГИЯ ЕЕ ОСВОЕНИЯ

2.1 Структура дисциплины (модуля), ее трудоемкость

Таблица 3

Распределение фонда времени по видам занятий

Наименование раздела и темы	Всего часов	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах/интерактивные часы)				Коды составляющих компетенций	Формы и вид контроля освоения составляющих компетенций (из фонда оценочных средств)
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1 Теоретические основы численных методов							ФОС ТК-1 тесты
Тема 1.1 Характеристика основных универсальных численных методов	5			1/1	4	ОК-6.3, ОК-6.У	Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль.
Тема 1.2 Численное дифференцирование обыкновенных дифференциальных уравнений	5			1/1	4	ОК-2.3, ОК-2.У	Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль.
Тема 1.3 Конечноразностное представление уравнения теплопроводности. Метод Монте-Карло	8			2/2	6	ПК-4.3, ПК-4.У	Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль.
Тема 1.4 Типы уравнений в частных производных на примере основного уравнения газовой динамики	10			2/2	8	ОК-6.3, ОК-6.У, ПК-4.3, ПК-4.У	Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль.
Тема 1.5 Особенности численного решения параболических и гиперболических дифференциальных уравнений.	16		4/4		12	ОК-2.В, ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль.
Тема 1.6 Метод конечных разностей. Выбор сетки. Аппроксимация дифференциальных соотношений.	16		4/4		12	ОК-2.В, ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчет о самостоятельной работе.
Раздел 2. Турбулентные реагирующие потоки							ФОС ТК-2 тесты
Тема 2.1 Подходы к решению задач турбулентного течения жидкости	8			2/2	6	ОК-2.3, ОК-2.У	Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль.
Тема 2.2 Уравнения движения жидкости в напряжениях, уравнения Навье–Стокса. Уравнения Рейнольдса	12			2/2	10	ПК-4.3, ПК-4.У	Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль.
Тема 2.3 Турбулентные реагирующие потоки	28		4/4	2/2	22	ОК-2.В, ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчет о самостоятельной работе.
Экзамен	36				36		ФОС ПА-комплексное задание
ИТОГО:	144		12/12	12/12	120		

РАЗДЕЛ 3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) И КРИТЕРИИ ОЦЕНОК ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

3.1 Оценочные средства для текущего контроля

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля (ФОС ТК) является составной частью РП дисциплины (модуля) и хранится на кафедре.

Таблица 5

Фонд оценочных средств текущего контроля

№ п/п	Наименование раздела (модуля)	Вид оценочных средств	Примечание
1	Теоретические основы численных методов	ФОС ТК-1	Отчеты по индивидуальным (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по первому разделу (модулю) (ФОС ТК-1).
2	Турбулентные реагирующие потоки	ФОС ТК-2	Отчеты по индивидуальным (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по второму разделу (модулю) (ФОС ТК-2)

3.2 Оценочные средства для промежуточного контроля

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации (ФОС ПА) является составной частью РП дисциплины, разработан в виде отдельного документа, в соответствии с положением о ФОС ПА.

3.3 Форма и организация промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

По итогам освоения дисциплины экзамен проводится в два этапа: **тестирование** и **письменное задание**.

Первый этап проводится в виде тестирования. **Тестирование** ставит целью оценить **пороговый** уровень освоения обучающимися заданных результатов, а также знаний и умений, предусмотренных компетенциями.

Для оценки **превосходного и продвинутого** уровня усвоения компетенций проводится **Второй этап** в виде **письменного задания**, в которое входит письменный ответ на контрольные вопросы и решение задачи.

3.4 Критерии оценки промежуточной аттестации

Результаты промежуточного контроля заносятся в АСУ «Деканат» в баллах.

Таблица 6

Система оценки промежуточной аттестации

Описание оценки в требованиях к уровню и объему компетенций	Выражение в баллах	Словесное выражение
Освоен превосходный уровень усвоения компетенций	от 86 до 100	Отлично
Освоен продвинутый уровень усвоения компетенций	от 71 до 85	Хорошо
Освоен пороговый уровень усвоения компетенций	от 51 до 70	Удовлетворительно
Не освоен пороговый уровень усвоения компетенций	до 50	Неудовлетворительно

РАЗДЕЛ 4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1 Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)

4.1.1 Основная литература

1. Киреев, В.И. Численные методы в примерах и задачах. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2015. – 448 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/65043>

2. Амосов, А.А. Вычислительные методы. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2014. – 672 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/42190>

3. Волков, К.Н. Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 464 с. ([Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/47567>)

4.1.2 Дополнительная литература

1. Срочко, В.А. Численные методы. Курс лекций. [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2010. – 208 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/378>

2. Гарбарук А.В. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений. [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с. – Режим доступа: https://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/lecture/dyn_of_visc_fluid_and_turb

3. Варнатц, Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Пер. с англ. Г.Л. Агафонова. Под ред. П.А. Власова/Ю. Патанкар, У. Маас, Р. Диббл. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352 с.

4.1.3 Методическая литература к выполнению практических и/или лабораторных работ

1. Трухачев, А.А. Лабораторный практикум по курсу "Численные методы": учебное пособие. [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 88 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/75826>

2. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И.В. Кудинов [и др.]. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2015. – 208 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/56168>

4.2 Информационное обеспечение дисциплины (модуля)

4.2.1 Основное информационное обеспечение

1. Харчук С.И., Сабирзянов А.Н. «Численное моделирование (CFD)» [Электронный ресурс]: курс дистанционного обучения по направлению подготовки 24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов», магистерская программа подготовки «Ракетные двигатели на твердом топливе» ФГОС 3 (1 фак. – РДЭУ) / КНИТУ-КАИ, – в разработке.

4.2.2 Дополнительное справочное обеспечение

1. Волков, Е.А. Численные методы. [Электронный ресурс] : учеб. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2008. – 256 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/54>

2. Основы численных методов: Учебное пособие / С.Л. Миньков, Л.Л. Миньков. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 260 с.

3. Численные методы в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. – 2-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2006. – 480 с.

4. Волков, К.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов. – Электрон. дан. – М.: Физматлит, 2008. – 368 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/49083>

5. Моделирование турбулентных течений: Учебное пособие / И.А. Белов, С.А. Исаев – Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2001. – 108 с.

6. Патанкар С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах / Пер. с англ. Е.В. Калабина; Под ред. Г.Г. Янькова. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 312 с.

7. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2-х томах: Т.1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 504 с.

8. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2-х томах: Т.2: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 552 с.

4.3 Кадровое обеспечение

4.3.1 Базовое образование

Высшее образование в предметной области двигателестроения и/или наличие ученой степени по специальностям 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов», 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы», 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и/или ученого звания по указанным специальностям и/или наличие дополнительного профессионального образования – профессиональной переподготовки в области современных методов вычислительной гидродинамики.

5 Вносимые изменения и утверждения

5.1 Лист регистрации изменений, вносимых в рабочую программу дисциплины (модуля)

Лист регистрации изменений

№ п/п	№ страницы внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1	Тит. лист	25.01.16	«В соответствии с Уставом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (новая редакция) исключить слово «профессионального» из полного названия КНИТУ-КАИ»		
2					
3					

5.2 Лист ознакомления

№п/п	ФИО	Должность	Дата	Подпись