

**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 № 1130.2/38

**АННОТАЦИЯ  
к рабочей программе  
дисциплины (модуля)  
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В  
РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

Индекс по учебному плану **Б1.В.ДВ.01.01**

Направление подготовки: **24.04.05 Двигатели летательных аппаратов**

Квалификация: **магистр**

Магистерская программа подготовки **«Ракетные двигатели на твердом топливе»**

Вид профессиональной деятельности: научно- исследовательская,  
проектно-конструкторская

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

Казань 2017

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

### **1.1. Цель преподавания учебной дисциплины (модуля).**

Целью изучения дисциплины является формирование комплекса знаний и практических навыков, необходимых для решения прикладных задач в области моделирования рабочих процессов ракетных двигателей при их проектировании.

### **1.2. Задачи учебной дисциплины (модуля).**

Основная задача дисциплины:

- изучение основных понятий вычислительной гидродинамики;
- изучение основ моделирования турбулентных течений средствами современной вычислительной гидродинамики;
- изучение основ моделирования процессов горения в турбулентных потоках;
- приобретение навыков использования современных компьютерных технологий для моделирования рабочих процессов энергоустановок;
- приобретение навыков создания и импортирования геометрических моделей и сеток;
- приобретение навыков формирования математической модели;
- приобретение навыков адекватного определения граничных условий;
- приобретение навыков использовать имеющиеся средства для обработки и удобного представления результатов расчета;
- решение прикладных задач моделирования рабочих процессов ракетных двигателей при их проектировании.

### **1.3. Место дисциплины (модуля) в структуре ОП ВО.**

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 «Компьютерное моделирование рабочих процессов в ракетных двигателях» входит в вариативную часть дисциплин профессионального цикла и изучается в течение 2-х семестров. Дисциплина закладывает знания для получения компетенций, связанных с технологиями автоматизированного проектирования сложных технических объектов, которыми являются ракетные двигатели.

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

Таблица 1

Объем дисциплины (модуля) для очной формы обучения

Вид учебной работы	Общая трудоемкость		семестры			
			1		2	
	в ЗЕ	в час.	в ЗЕ	в час.	в ЗЕ	в час.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>8</b>	<b>288</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>4</b>	<b>144</b>
<i>Аудиторные занятия</i>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>1,67</b>	<b>60</b>	<b>1,33</b>	<b>48</b>
Лекции	0,67	24	0,34	12	0,33	12
Лабораторные работы	1,33	48	1	36	0,33	12
Практические занятия	1	36	0,33	12	0,67	24
<b>Самостоятельная работы студентов</b>	<b>5</b>	<b>180</b>	<b>2,33</b>	<b>84</b>	<b>2,67</b>	<b>96</b>
Проработка учебного материала	2	72	1,33	48	0,67	24
Курсовой проект	-	-	-	-	-	-
Курсовая работа	1	36	-	-	1	36
Подготовка к промежуточной аттестации (экзамену)	2	72	1	36	1	36
Промежуточная аттестация	Экзамен(2), КР		Экзамен		Экзамен, КР	

#### 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-6 способностью 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>			
<b>Знание</b> теоретических основ разработки физических и математических моделей исследуемых процессов и явлений	Знание основных понятий вычислительной гидродинамики, теоретических основ моделирования турбулентных течений, процессов горения в турбулентных потоках, процессов теплообмена и образования токсичных веществ при горении газообразных топлив,	Знание основных понятий вычислительной гидродинамики, теоретических основ моделирования турбулентных течений, процессов горения в турбулентных потоках, процессов теплообмена, образования токсичных веществ при горении газообразных топлив при	Знание основных понятий вычислительной гидродинамики, теоретических основ моделирования турбулентных течений, процессов горения в турбулентных потоках, процессов теплообмена, течения гетерогенных сред, образования токсичных веществ при горении

1	2	3	4
	методов решения систем дифференциальных уравнений; знание требуемых допущений и граничных условий для разработки физических и математических моделей	решении задач с множеством допущений; знание методов решения систем дифференциальных уравнений; знание требуемых допущений и граничных условий для разработки физических и математических моделей при решении задач с множеством допущений	газообразных и жидких топлив при решении сложных сопряженных задач; знание методов решения систем дифференциальных уравнений, обоснование применяемого метода решения; знание требуемых допущений и граничных условий для разработки физических и математических моделей при решении сложных сопряженных задач
<b>Умение</b> самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания, аргументировано и грамотно излагать физические и математические модели исследуемых процессов и явлений	Умение самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания, умение излагать основы физических и математических моделей исследуемых процессов и явлений; умение аргументировано и грамотно излагать необходимые допущения при формировании моделей для решения упрощенных задач моделировании в новых областях знаний	Умение самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания, умение аргументировано и грамотно излагать физические и математические модели исследуемых процессов и явлений при наличии многочисленных допущений; умение аргументировано и грамотно излагать необходимые допущения при разработке моделей для решения задач при наличии многочисленных допущений в новых областях знаний	Умение самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания, умение аргументировано и грамотно излагать физические и математические модели исследуемых процессов и явлений при решении сложных сопряженных задач; умение аргументировано и грамотно излагать необходимые допущения при разработке моделей для решения сложных сопряженных задач в новых областях знаний
<b>Владение</b> информационными технологиями для получения знаний по моделированию рабочих процессов в новых областях знаний и представлению результатов исследований	Владение информационными технологиями для получения знаний по моделированию рабочих процессов и представлению результатов расчетов в новых областях исследований	Владение информационными технологиями для получения знаний по моделированию рабочих процессов и представлению результатов расчетов; владение информационными технологиями подготовки исходных данных для проведения моделирования в новых областях исследований	Владение информационными технологиями для получения знаний по моделированию рабочих процессов и представлению результатов расчетов; владение информационными технологиями подготовки исходных данных для проведения моделирования и комплексных исследований в области знаний, непосредственно не связанной со сферой деятельности
<b>ПК–2 способностью осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по направлению исследований, выбирать методы и средства решения задач</b>			
<b>Знание</b> методов и средств решения научно-исследовательских задач по направлению исследований	Знание основных методов исследований научных задач	Знание основных методов исследований научных задач по направлению исследований	Знание основных методов исследований научных задач по направлению исследований, сопровождающей теоретической информации как отечественной, так и зарубежной

1	2	3	4
<b>Умение</b> осуществлять сбор, анализ и систематизацию научно-технической информации по направлению исследований	Умение выполнять сбор, анализ и систематизацию научно-технической информации по двигателям летательных аппаратов	Умение выполнять сбор, анализ и систематизацию научно-технической информации по двигателям летательных аппаратов, составлять отчет о проделанной работе, используя отечественные и зарубежные источники, вести дискуссию	Умение выполнять сбор, анализ и систематизацию научно-технической информации по двигателям летательных аппаратов, составлять отчет о проделанной работе, используя отечественные и зарубежные источники, вести дискуссию, публично выступать
<b>Владение</b> навыками обработки результатов исследования в электронном виде	Владение офисными приложениями и простыми методами обработки информации	Уверенное владение широким рядом приложений для обработки результатов исследования	Профессиональное владение различными программными приложениями и их составляющими для обработки результатов исследования
<b>ПК-4 способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности</b>			
<b>Знание</b> теоретических основ разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных изделий с использованием средств автоматизированного проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий в области двигателестроения	Знание теоретических основ разработки эскизных и технических проектов сложных изделий с использованием ПО ANSYS Fluent; знание ограничений, допущений и возможных упрощений при составлении моделей расчета на основе ПО ANSYS Fluent; знание теоретических основ разработки сеточных моделей проточной части элементов конструкции двигателя средствами сеточного генератора Gambit	Знание теоретических основ разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных изделий с использованием ПО ANSYS Fluent; знание ограничений, допущений и возможных упрощений при составлении моделей расчета рабочих трактов сложной геометрической конфигурации на основе ПО ANSYS Fluent; знание теоретических основ и технических тонкостей разработки сеточных моделей проточной части элементов конструкции двигателя сеточного генератора Gambit	Знание теоретических основ и технических тонкостей разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных изделий с использованием ПО ANSYS Fluent; знание ограничений, допущений и возможных упрощений при составлении моделей расчета рабочих трактов сложной геометрической конфигурации на основе ПО ANSYS Fluent; знание теоретических основ и технических тонкостей разработки сеточных моделей проточной части элементов конструкции двигателя средствами ПО различных сеточных генераторов
<b>Умение</b> разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты сложных изделий с использованием средств автоматизированного проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий	Умение импортировать sat, igs, iges форматы CAD моделей в среду сеточного генератора Gambit; умение использовать основные методы и способы сеточного генератора Gambit для создания 2D и 3D сеточных модели простых геометрических трактов; умение использовать основные способы сеточного генератора Gambit и для анализа сеточной модели; умение использовать основные способы и методы расчета типового ПО ANSYS Fluent для решения задач гидродинамики;	Умение импортировать различные форматы CAD моделей в среду сеточного генератора Gambit; умение использовать большинство методов и способов сеточного генератора Gambit для создания 2D и 3D сеточных модели сложных геометрических трактов; умение использовать возможности сеточного генератора Gambit и ПО ANSYS Fluent для анализа сеточной модели; умение использовать методы и способы типового ПО ANSYS Fluent для решения задач газовой динамики, горения, теплообмена,	Умение импортировать различные форматы CAD моделей в ПО различных сеточных генераторов; умение использовать возможности различных сеточных генераторов для создания 2D и 3D сеточных модели сложных геометрических трактов; умение использовать возможности сеточных генераторов и ПО ANSYS Fluent для анализа сеточной модели; умение использовать методы и способы типового ПО ANSYS Fluent для решения сопряженных задач газовой динамики, горения, расчета

1	2	3	4
	умение использовать основные способы и методы ПО ANSYS Fluent для обработки результатов расчета	расчета эмиссионных характеристик; умение использовать возможности ПО ANSYS Fluent и других средств визуализации для обработки и представления результатов расчета	эмиссионных характеристик, теплообмена, моделирования течения в условиях гетерогенных сред; умение использовать возможности ПО ANSYS Fluent и других средств визуализации для обработки и представления результатов расчета
<b>Владение</b> информационными технологиями разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных изделий с использованием средств автоматизированного проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий в области двигателестроения	Владение информационными технологиями поиска необходимых исходных данных для разработки эскизных и технических проектов; владение информационными технологиями создания технической документации эскизных и технических проектов	Владение информационными технологиями поиска и расчета необходимых исходных данных для разработки эскизных и технических проектов; владение информационными технологиями создания технической документации эскизных, технических и рабочих проектов	Владение информационными технологиями поиска и расчета необходимых исходных данных для разработки эскизных, технических и рабочих проектов; владение информационными технологиями создания технической документации эскизных, технических и рабочих проектов; владение информационными технологиями оценки конкурентоспособности изделий в области двигателестроения

## 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.		
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Раздел 1. Дискретные геометрические модели. Сетки.</b>							<i>ФОС ТК-1 тесты</i>

1	2	3	4	5	6	7	8
Тема 1.1. Введение в численные методы. Формирование модели, постановка граничных условий, задание свойств материалов, анализ, обработка и визуализация результатов расчета.	4	2	0	0	2	ПК-4.3	Собеседование
Тема 1.2. Расчетные сетки. Сеточные генераторы.	30	2	20	0	4	ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по лабораторным занятиям, о самостоятельной работе.
<b>Раздел 2. Основы численных методов</b>							<i>ФОС ТК-2 тесты</i>
Тема 2.1. Численные методы газовой динамики. Метод конечных разностей.	10	2	0	6	8	ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Текущий контроль. Отчеты по практическим занятиям.
Тема 2.2. Метод контрольного объема Патанкара - Сполдинга для решения задач газодинамики и горения.	14	2	0	0	12	ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-4.3, ПК-4.У	Собеседование. Отчет о самостоятельной работе.
<b>Раздел 3. Моделирование турбулентных потоков</b>							<i>ФОС ТК-3 тесты</i>
Тема 3.1. Турбулентные течения. Подходы к моделированию.	32	2	16	0	12	ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по лабораторным занятиям.
Тема 3.2. Уравнения Рейнольдса и статистические модели турбулентности. Моделирование пристеночных областей.	18	2	0	6	10	ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по практическим занятиям, о самостоятельной работе.
<b>Подготовка к аттестации</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>		
<b>Экзамен</b>							<i>ФОС ПА-1 комплексное задание</i>
<b>Всего за семестр</b>	<b>144</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	<b>12</b>	<b>84</b>		
<b>Раздел 4. Моделирование процессов горения</b>							<i>ФОС ТК-4 тесты</i>
Тема 4.1. Классификация процессов горения. Подходы к моделированию горения. Горение неперемешанной смеси. Модели горения, основанные на глобальной химической реакции.	14	2	4	4	4	ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по лабораторным и практическим занятиям.
Тема 4.2. Моделирование горения предварительно перемешанных и частично перемешанных смесей.	10	2	2	4	2	ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по лабораторным и практическим занятиям, о самостоятельной работе.
<b>Раздел 5. Детальное моделирование процессов горения</b>							<i>ФОС ТК-5 тесты</i>

1	2	3	4	5	6	7	8
Тема 5.1. Модель горения, основанная на допущении о химическом равновесии.	10	2	2	2	4	ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по лаб. и прак. занятиям.
Тема 5.2. Модель ламинарных микропламен. Детализация моделей горения.	18	2	2	8	6	ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по лаб. и прак. занятиям, о сам - ной работе.
<b>Раздел 6. Моделирование эмиссионных характеристик. Моделирование горения жидких топлив</b>							<i>ФОС ТК-6 тесты</i>
Тема 6.1. Моделирование эмиссии токсичных веществ.	10	2	2	2	4	ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по лаб. и прак. занятиям.
Тема 6.2. Моделирование распыла жидкого топлива и горения жидких топлив.	10	2	0	4	4	ОК-6.3, ОК-6.У, ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-4.3, ПК-4.У	Выполнение заданий. Текущий контроль. Отчеты по прак. занятиям, о сам - ной работе.
<b>Курсовая работа</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	ОК-6.3, ОК-6.У, ОК-6.В, ПК-2.3, ПК-2.У, ПК-2.В, ПК-4.3, ПК-4.У, ПК-4.В	Защита курсовой работы
<b>Подготовка к аттестации</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>		
<b>Экзамен</b>							<i>ФОС ПА-2 комплексное задание</i>
<b>Всего за семестр</b>	<b>144</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>96</b>		
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>288</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>36</b>	<b>180</b>		

### 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 4

Фонд оценочных средств текущего контроля

№ п/п	Наименование раздела	Вид оценочных средств	Примечание
1	2	3	4
1	Дискретные геометрические модели. Сетки.	ФОС ТК-1	Отчеты по лабораторным работам (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по первому разделу (модулю) (ФОС ТК-1).
2	Основы численных методов.	ФОС ТК-2	Отчеты по индивидуальным заданиям на практических занятиях (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по второму разделу (модулю) (ФОС ТК-2).



1	2	3	4
3	Моделирование турбулентных потоков.	ФОС ТК-3	Отчеты по лабораторным работам, индивидуальным заданиям на практических занятиях (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по третьему разделу (модулю) (ФОС ТК-3).
4	Моделирование процессов горения.	ФОС ТК-4	Отчеты по лабораторным работам, индивидуальным заданиям на практических занятиях (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по четвертому разделу (модулю) (ФОС ТК-4).
5	Детальное моделирование процессов горения.	ФОС ТК-5	Отчеты по лабораторным работам, индивидуальным заданиям на практических занятиях (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по пятому разделу (модулю) (ФОС ТК-5).
6	Моделирование эмиссионных характеристик. Моделирование горения жидких топлив.	ФОС ТК-6	Отчеты по лабораторным работам, индивидуальным заданиям на практических занятиях (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по шестому разделу (модулю) (ФОС ТК-6).

### 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 выполнение **письменного задания**.

**Первый этап** проводится в виде тестирования. **Тестирование** ставит целью оценить **пороговый** уровень освоения обучающимися 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 5

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 51	Неудовлетворительно

## РАЗДЕЛ 4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 4.1. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля).

#### 4.1.1. Основная литература:

1. 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>)

2. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович. – Репр. воспроизведение изд. 1960 г. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 720 с.

3. Шлёнский, О. Ф. Режимы горения материалов / О.Ф. Шлёнский, В.С. Сиренко, Е. А. Егорова. – М.: Машиностроение, 2011. – 220 с.

#### 4.1.2. Дополнительная литература

1. Турчак, Л.И. Основы численных методов: учеб. пособие/Л.И. Турчак, П.В. Плотников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2005. – 304 с.

2. Батулин, О.В. Построение расчетных моделей в препроцессоре *Gambit* универсального программного комплекса *Fluent*. Учеб. пособие/ О.В. Батулин, Н.В. Батулин, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 172 с.

3. Батулин, О.В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса *Fluent*. Учеб. пособие/ О.В. Батулин, Н.В. Батулин, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 151 с.

4. Волков, Е.А. Численные методы: учеб. Пособие /Е.А. Волков. – 5-е изд., стер. – СПб.: М.; Краснодар: Лань, 2008. – 256 с.

5. Любимов, А.К. Методы построения расчетных сеток в пакете ANSYS ICEM CFD: Электронное методическое пособие / А.К. Любимов, Л.В. Шабарова – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 25 с.

6. Шабаров, В.В. Моделирование движительно-рулевого комплекса судна на воздушной подушке. Электронное учебно-методическое пособие / В.В. Шабаров, П.С. Кальясов, Л.А. Игумнов, В.А. Шапошников – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 50 с.

7. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен.Т.1/ Д. Андерсон, Дж. Танненхил, Р.Плетчер: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.– 384 с.

8. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т.2 / Д. Андерсон, Дж. Танненхил, Р. Плетчер: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.– 392 с.

9. Оран, Э. Численное моделирование реагирующих потоков. Пер. с англ. / Э. Оран, Дж. Борис – М.: Мир, 1990. – 660 с.

10. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. / С. Патанкар. – М.: «Энергоатомиздат», 1984 г., – 152 с.

11. 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.

12. Краткое описание возможностей CFD кода FLUENT v.6.3.26 и сеточных генераторов ICEM CFD и GAMBIT. – г. Москва, ЗАО “EMT P” Авторизированный дистрибьютор, инженерно-консалтинговый и учебный центр ANSYS Inc, 2008. – 190 с.

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

14. Никущенко, Д.В. Применение расчетного комплекса FLUENT для моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости: Учеб. Пособие / Д.В. Никущенко – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2005. – 97 с.

15. Юн, А.А. Теория и практика моделирования турбулентных течений / А.А.Юн – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 272 с.

16. Морозов, И.И. Теоретические основы вычислительной газовой динамики: учеб. пособие/ И.И. Морозов, В.Н. Матвеев, А.С. Ляскин – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 54 с.

17. Мазо, А.Б. Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости. Учебное пособие / А.Б. Мазо – Казань: Изд. Казанского гос. ун-та, 2004 – 120 с.

18. Волков, К.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 468 с.

19. Молчанов, А.М. Построение сеток в задачах авиационной и космической техники / А.М. Молчанов, М.А. Щербаков, Д.С. Янышев, М.Ю. Куприков, Л.В. Быков – М.: МАИ, 2013-260 с.

#### **4.1.3. Методическая литература к выполнению практических и/или лабораторных работ**

Литература для выполнения практических и/или лабораторных работ представляет собой книги (пособия), входящие в состав основной и дополнительной литературы.

#### **4.2. Информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

##### **4.2.1. Основное информационное обеспечение**

1. <http://www.cadfem-cis.ru/>
2. <http://www.delcam-ural.ru/>
3. <http://www.youtube.com/> (*видеоуроки*)
4. <http://www.ansysolutions.ru/>
5. <http://www.zanud.ru/docs/index-1012630.html?page=6>

##### **4.2.2. Дополнительное информационное обеспечение**

1. <http://www.ansys.com/About+ANSYS/ContactsLocations> (*с регистрацией студентом на сайте*)
2. <http://cfm.mace.manchester.ac.uk/ercoftac/>
3. <http://www.springer.com/series/5934>
4. <http://www.etmm10.info/>
5. <http://fluent.com>.
6. <http://fluentusers.com>.
7. <http://www.cae-expert.ru/product/ansys-designmodeler>
8. <http://www.cae-expert.ru/discipline/setochnye-generatory>
9. <http://www.axis-tech.ru/simerics/Mesher.html>

#### **4.3. Кадровое обеспечение**

##### **4.3.1. Базовое образование преподавателей**

Преподаватели, ведущие дисциплину Б1.В.ДВ.01.01 «Компьютерное моделирование рабочих процессов в ракетных двигателях» по направлению 24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов», должны иметь базовое профильное образование и/или ученую степень по специальностям 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» или 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

## 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