

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»  
Председатель Ученого совета  
института машиностроения и  
аэрокосмической техники

проф. Дроздов И.Г. \_\_\_\_\_  
(подпись)  
" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2014 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Математическое моделирование рабочих процессов в энергетических установках**  
(наименование дисциплины (модуля) по УП)

**Закреплена за кафедрой:** ракетных двигателей

**Направление подготовки (специальности):**

24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

(код, наименование)

**Профиль:** " Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов "

(название профиля по УП)

**Часов по УП:** 108; **Часов по РПД:** 108;

**Часов по УП (без учета часов на экзамены):** 108; **Часов по РПД:** 108;

**Часов на самостоятельную работу по УП:** 63 (58 %);

**Часов на самостоятельную работу по РПД:** 63 (58 %);

**Общая трудоемкость в ЗЕТ:** 3;

**Виды контроля в семестрах (на курсах):** Экзамены - 0; Зачеты - 2; Курсовые проекты - 0;  
Курсовые работы - 0.

**Форма обучения:** очная;

**Срок обучения:** нормативный;

**Ориентация программы:** программа подготовки аспирантов;

**Вид профессиональной деятельности:** экспериментально-исследовательская

**Распределение часов дисциплины по курсам**

Вид занятий	№ семестров / число учебных недель в семестрах									
	1 / 18		2 / 18		3 / 18		4 / 18		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции			30	30					30	30
Лабораторные			-	-					-	-
Практические			15	15					15	15
Ауд. занятия			45	45					45	45
Сам. работа			63	63					63	63
<b>Итого</b>			108	108					108	108

**Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника», утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 890.**

**Программу составил:** \_\_\_\_\_ д.т.н. Иванов А.В.  
(подпись, \_\_\_\_\_) (ученая степень, ФИО)

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Главный конструктор ОАО КБХА, д.т.н., профессор, А.Ф. Ефимочкин

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки аспирантов по направлению 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника», профиль Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры ракетных двигателей  
протокол № \_\_\_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2014 г.

Зав. кафедрой РД, д.т.н., профессор \_\_\_\_\_ В.С. Рачук

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	<b>Цель изучения дисциплины</b> – формирование компетенций, необходимых для овладения методами математического моделирования с использованием многоцелевых программных комплексов, предназначенных для решения задач механики жидкости и газа, теплопереноса, а также связанных задач механики жидкости и газа и теплопереноса
1.2	<b>Для достижения цели ставятся задачи:</b>
1.2.1	- актуализация теоретических знаний, полученных при изучении курсов «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», « Гидрогазодинамика энергетических установок» и «Тепломассообмен в энергетических установках»;
1.2.2	- приобретение и овладение практическими навыками работы с современными программными комплексами и системами автоматизированного инженерного анализа

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Цикл Б1.В.ДВ	Код дисциплины Б1.В.ДВ.1.1
2.1.	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося</b> Дисциплина «Математическое моделирование рабочих процессов в энергетических установках» представляет собой специальную дисциплину отрасли науки и научной специальности и относится к направлению «Авиационная и ракетно-космическая техника». Дисциплина базируется на курсах цикла естественнонаучных дисциплин: Физика Математика Химия
2.2.	<b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> Б1.В.ДВ.2.2 - Основы интеллектуальной деятельности при решении научно-технических задач

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Выпускник, освоивший программу аспирантуры, должен обладать следующими компетенциями:

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>ОПК</b>	<b>ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ОПК-1	владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники
ОПК-2	владение культурой научного исследования в области авиационной и ракетно-космической техники, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
ОПК-3	способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области авиационной и ракетно-космической техники с учетом правил соблюдения авторских прав

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>ПК</b>	<b>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>
ПК-1	способность выполнять расчеты (моделирование) параметров рабочего процесса, нагруженности, теплового состояния и характеристик тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, а также энергетических установок, их узлов и элементов
ПК-2	способность разрабатывать физические и математические модели процессов и явлений в тепловых, электроракетных двигателях летательных аппаратов и энергетических установок

### В результате освоения дисциплины обучающийся должен

<b>3.1</b>	<b>знать:</b>
<b>3.1.1</b>	- основные методы исследования задач механики жидкости и газа с помощью современных программных пакетов (ПК-2);
<b>3.2</b>	<b>уметь:</b>
<b>3.2.1</b>	- выполнить анализ полученных результатов (ОПК-2, ПК-2);
<b>3.2.2</b>	- ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики, совершенствовать, углублять и развивать математическую теорию и физико-математические модели, лежащие в их основе (ОПК-3);
<b>3.2.3</b>	- самостоятельно работать со специальной математической литературой, посвященной механике жидкости и газа (ОПК-1);
<b>3.3</b>	<b>владеть:</b>
<b>3.3.1</b>	- способностью к интенсивной научно-исследовательской и научно-изыскательской деятельности с использованием современных программных средств (ПК-1);
<b>3.3.2</b>	- способностью к самостоятельному решению проблем механики жидкости и газа на основе систем автоматизированного инженерного анализа (ПК-2)

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Основы метода конечного элемента	2	1-6	10	5	-	21	36
2	Методы расчета тензора напряжений	2	7-12	10	5	-	21	36
3	Изучение принципов работы с программными продуктами среды инженерного анализа ANSYS	2	13-18	10	5	-	21	36
Итого:				30	15	-	63	108

#### 4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
1-6	<b>Основы метода конечного элемента.</b> Использование метода конечного элемента для решения задач механики сплошных сред. Критерии механики жидкости. Тензор напряжений	10
7-12	<b>Методы расчета тензора напряжений.</b> Упругая задача. Тепловая задача. Модель газа. Модель жидкости в акустическом приближении	10
13-18	<b>Изучение принципов работы с программными продуктами среды инженерного анализа ANSYS.</b> DesignModeler , DesignXplorer, BladeModeler, TurboGrid, Vista, CFD PrePost, Professional NLT, Meshing, CFX Solver	10
<b>Итого часов:</b>		<b>30</b>

#### 4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Тема и содержание практического занятия	Объем часов	Виды контроля
1-6	<b>Основы метода конечного элемента.</b> Каротаж	5	тестовый опрос
7-12	<b>Методы расчета тензора напряжений.</b> Якобиан	5	тестовый опрос
13-18	<b>Изучение принципов работы с программными продуктами среды инженерного анализа ANSYS.</b> Geometry Interface for Parasolid, Geometry Interface for Solidwork, Geometry Interface for Autodesk	5	тестовый опрос
	Контрольная работа		
<b>Итого часов:</b>		<b>15</b>	

#### 4.3 Лабораторные работы

Не предусмотрены.

#### 4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1-6	<b>Основы метода конечного элемента.</b> Энергетический инвариантный интеграл	тестовый опрос	21
7-12	<b>Методы расчета тензора напряжений.</b> Уравнения состояния реальной жидкости	тестовый опрос	21
13-18	<b>Изучение принципов работы с программными продуктами среды инженерного анализа ANSYS.</b> HPC Pack	тестовый опрос	21
	Подготовка к тестированию	Допуск к зачету	
	Подготовка к зачету	Зачет	
<b>Итого часов:</b>			<b>63</b>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	<b>В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:</b>
5.1	<b>Информационные лекции;</b> а) дискуссия, б) ИТ-методы
5.2	<b>Практические занятия:</b> а) <b>работа в команде (ИФ)</b> - совместное обсуждение вопросов лекций, домашних заданий, решение творческих задач (метод Делфи); б) выступления по темам рефератов, в) проведение контрольных работ, г) тестовый опрос
5.3	<b>лабораторные работы</b> не предусмотрены
5.4	<b>самостоятельная работа студентов:</b> – изучение теоретического материала, – подготовка к лекциям и практическим занятиям, – работа с учебно-методической литературой, – оформление конспектов лекций, подготовка реферата, отчетов, – выполнение индивидуальных научных расчетов
5.5	<b>консультации</b> по всем вопросам учебной программы.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ

<b>6.1</b>	<b>Контрольные вопросы и задания</b>
6.1.1	Используемые формы текущего контроля: - тестовый опрос; - контрольные работы при выполнении практических занятий; - реферат-презентация
6.1.2	Рабочая программа дисциплины обеспечена фондом оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации
<b>6.2</b>	<b>Темы письменных работ</b>
6.2.1	Контрольная работа № 1 по теме: «Экспериментальные факторные модели»
6.2.2	Контрольная работа № 2 по теме: «Нейросетевое моделирование»
6.2.3	Контрольная работа № 3 по теме: «Нелинейная оптимизация»
<b>6.3</b>	<b>Другие виды контроля</b>
6.3.1	Реферат-презентация по тематике дисциплины

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
Основная литература				
1	Кудинов И.В., Кудинов В.А.	Математическое моделирование гидрогазодинамики и теплообмена в движущихся жидкостях. ЭБС «Лань», 2015	2015 печат.	1
2	Ерохин Б.Т.	Теория и проектирование ракетных двигателей. Лань, 2015.	2015 печат.	1
Дополнительная литература				
3	Валюхов С.Г., Кретицин А.В.	Математическое моделирование гидродинамических процессов в проточной части центробежного насоса с использованием нейросетевых алгоритмов / Насосы. Турбины. Системы. 2011, № 1. С. 53-60.	2011 печат.	1
4	Велихов В. Е. и др.	Современные подходы к проектированию технически сложных объектов с использованием комплексного математического моделирования. Москва, 2012.	2012, печат.	1
Программное обеспечение и интернет ресурсы				
4	Рекомендуемая литература в виде электронных ресурсов представлена на сайте ВГТУ (научно-техническая библиотека): <a href="http://catalog.vorstu.ru/">http://catalog.vorstu.ru/</a>			
5	<b>Интернет-ресурсы для самостоятельной работы:</b>			
	– Сайт компании ANSYS <a href="http://www.ansys.com/">http://www.ansys.com/</a> – Сайт компании CADFEM <a href="http://www.cadfem-cis.ru/">http://www.cadfem-cis.ru/</a>			
6	<b>Программное обеспечение:</b>			
	– ПО ANSYS DesignModeler, ПО ANSYS BladeModeler, ПО ANSYS TurboGrid, ПО ANSYS Vista TF, ПО ANSYS CFD PrePost, ПО ANSYS CFX Solver			

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1	Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
8.2	Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения практических работ

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**КАРТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРОЙ**

<b>Рекомендуемая литература</b>				
<b>№ п/п</b>	<b>Авторы, составители</b>	<b>Заглавие</b>	<b>Годы издания. Вид издания</b>	<b>Обеспеченность</b>
<b>Основная литература</b>				
1	Кудинов И.В., Кудинов В.А.	Математическое моделирование гидрогазодинамики и теплообмена в движущихся жидкостях. ЭБС «Лань», 2015	2015 печат.	1
2	Ерохин Б.Т.	Теория и проектирование ракетных двигателей. Лань, 2015.	2015 печат.	1
<b>Дополнительная литература</b>				
3	Валюхов С.Г., Кретинин А.В.	Математическое моделирование гидродинамических процессов в проточной части центробежного насоса с использованием нейросетевых алгоритмов / Насосы. Турбины. Системы. 2011, № 1. С. 53-60.	2011 печат.	1
4	Велихов В. Е. и др.	Современные подходы к проектированию технически сложных объектов с использованием комплексного математического моделирования. Москва, 2012.	2012, печат.	1
<b>Программное обеспечение и интернет ресурсы</b>				
4	Рекомендуемая литература в виде электронных ресурсов <b>представлена на сайте ВГТУ (научно-техническая библиотека): <a href="http://catalog.vorstu.ru/">http://catalog.vorstu.ru/</a></b>			
5	<b>Интернет-ресурсы для самостоятельной работы:</b>			
	– Сайт компании ANSYS <a href="http://www.ansys.com/">http://www.ansys.com/</a>			
	– Сайт компании CADFEM <a href="http://www.cadfem-cis.ru/">http://www.cadfem-cis.ru/</a>			
6	<b>Программное обеспечение:</b>			
	– ПО ANSYS DesignModeler, ПО ANSYS BladeModeler, ПО ANSYS TurboGrid, ПО ANSYS Vista TF, ПО ANSYS CFD PrePost, ПО ANSYS CFX Solver			

Зав. кафедрой РД

В.С. Рачук

Директор библиотеки

Т.И. Буковшина



## РЕЦЕНЗИЯ

**на рабочую программу по дисциплине «математическое моделирование рабочих процессов в энергетических установках» для направления подготовки 24.06.01 «Авиационные и ракетно-космическая техника» по профилю подготовки 05.07.05 «Тепловые и электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»**

Рабочая программа разработана Ивановым А.В., доцентом кафедры ракетные двигатели института машиностроения и аэрокосмической техники Воронежского государственного технического университета в соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом направления подготовки 24.06.01 «Авиационные и ракетно-космическая техника» по профилю подготовки 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Преподавание дисциплины в соответствии с предлагаемой программой позволит решить следующие задачи курса – практическое применение теоретических знаний, полученных при изучении курсов «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», «Гидрогазодинамика энергетических установок» и «Тепломассообмен в энергетических установках», приобретение и овладение навыками работы с современными программными комплексами и системами автоматизированного инженерного анализа.

Комплекс содержит рабочую программу для очной формы обучения и перечень разделов курса с развёрнутым содержанием. В программе представлены перечень основной и дополнительной литературы, перечень тем практических занятий, представлен календарный план чтения лекций, план-график самостоятельной работы студентов.

В связи с вышеизложенным, считаю целесообразным использовать рабочую программу в учебном процессе аспирантов ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет».

Главный конструктор ОАО КБХА,  
д.т.н., профессор,

профессор каф. РД ВГТУ

А.Ф. Ефимочкин

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

*Оценочные средства текущего контроля*

*Устный опрос*

1. Что называют математическим моделированием?
2. Какие факторы определили расширение в последнее время областей применения математического моделирования в технике?
3. Что понимают под иерархией ММ по отношению к одному и тому же ТО?
4. Перечислите основные этапы математического моделирования технического объекта (ТО)
5. Что понимают под декомпозицией ММ ?
6. Дайте общее понятие алгоритма
7. Какими свойствами обладает алгоритм?
8. Какие формы записи алгоритмов вам известны?
9. Чем объясняется разнообразие форм записи алгоритма?
10. Как изображается алгоритм при блок-схемном описании?
11. Какая функция называется унимодальной?
12. Какие методы применяются для многоэкстремальных функций?
13. Почему для инженерных оптимизационных задач проблематично использовать классический аппарат мат. анализа?
14. Какие этапы включает в себя общий алгоритм исключения отрезков ?
15. В чем суть метода парабол?
16. Как записывается целевая функция и ограничения в транспортной задаче?
17. Как формулируется основное функциональное уравнение Беллмана?
18. Назовите важнейшим функциональным свойства ТЭС (АЭС).
19. В чем различие в целях конструкторского и поверочного расчетов тепловых схем?
20. К какому виду - конструкторский или поверочный - относятся оптимизационные расчеты энергетического оборудования и почему?
21. Когда совокупность предметов будет системой ?
22. Что понимают под графом?
23. Для каких задач используется графическое моделирование?

**Критерии оценки ответов:**

- 1 – ответ верный, в полном объеме;  
 0,5 – ответ верный, но не полный;  
 0 – ответ неверный.

**Шкала оценивания:**

Итоговый балл	0÷0,5	1	1,5÷2	2,5÷3
Оценка	2	3	4	5

**Методика проведения:** проводится в аудитории для практических занятий в начале занятия, используется устный метод контроля, применяется индивидуальная форма, задается по 3 вопроса, время проведения опроса до 10 минут, ответы даются без использования справочной литературы (конспектов) и средств коммуникации, результат сообщается немедленно.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

*Вопросы к зачету*

1. Описание оптимизационной задачи в теплоэнергетических расчетах
2. Обзор методов для решения задачи распределения нагрузок между турбинами
3. Пример использования метода динамического программирования в инженерных задачах
4. Пример использования градиентных методов в инженерных задачах
5. Суть и описание метода «штрафных» функций
6. Суть и описание метода «барьерных» функций
7. Пример использования метода «штрафных» функций в инженерных задачах
8. Пример использования метода «штрафных» функций в инженерных задачах
9. Использование метода Лагранжа для оптимизации параметров тепловых схем ТЭС
10. Использование симплекс-метода для распределения нагрузок между основным оборудованием ТЭС
11. Описание оптимизационной задачи в теплоэнергетических расчетах
12. Обзор методов для решения задачи распределения нагрузок между турбинами
13. Пример использования метода динамического программирования в инженерных задачах
14. Пример использования градиентных методов в инженерных задачах
15. Суть и описание метода «штрафных» функций
16. Что называют дугой графа?
17. Какими графическими способами можно решить классическую задачу о распределении средств?
18. Какие формы математического описания используются в математических моделях потокораспределения?

**Критерии оценки ответов:**

- 1 – ответ верный, в полном объеме;
- 0,5 – ответ верный, но не полный;
- 0 – ответ неверный.

**Шкала оценивания:**

Итоговый балл	0÷0,5	1	1,5÷2	2,5÷3
Оценка	2	3	4	5

**Методика проведения:** зачет проводится в аудитории для лекционных или практических занятий, используется устный метод контроля, применяется индивидуальная форма, задается по 3 вопроса, время проведения зачета – до 1 часа (для лиц с ограниченными возможностями – 2 академических часа), ответы даются без использования справочной литературы (конспектов) и средств коммуникации, результат представляются в течении 3-х часов после окончания аттестации.