

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра авиационных двигателей

**АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ»**

Уровень подготовки: высшее образование – подготовка магистров

Направление подготовки магистров  
24.04.05 Двигатели летательных аппаратов

Направленность подготовки  
Авиационные воздушно-реактивные двигатели (ВРД)

Квалификация (степень) выпускника  
Магистр

Форма обучения  
очная

Уфа 2015

Исполнители:

Старший преподаватель  
должность

  
подпись

А.Я. Абдулин  
расшифровка подписи

Старший преподаватель  
должность

  
подпись

Р.Р. Ямалиев  
расшифровка подписи

Заведующий кафедрой  
авиационных двигателей  
наименование кафедры

  
личная подпись

А.С. Гишваров  
расшифровка подписи

## Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Численное моделирование реальных течений» является дисциплиной по выбору вариативной части блока Б1 по направлению подготовки магистров 24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов», программа подготовки «Авиационные воздушно-реактивные двигатели (ВРД)».

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению магистров 24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от "08" апреля 2015 г. № 373. Является неотъемлемой частью основной профессиональной образовательной программы (ОПОП).

**Целью освоения дисциплины** является формирование профессиональных компетенций в области выполнения инженерных расчетов газодинамики и прочности элементов летательных аппаратов и авиационных газотурбинных двигателей с помощью трехмерных пакетов численного моделирования.

### Задачи:

- сформировать теоретические знания о физической сущности моделей прочности и газодинамики;
- изучить основные понятия и методы расчёта на прочность и газодинамику элементов ГТД и летательных аппаратов;
- сформировать представление у студентов о современном уровне расчётных и экспериментальных исследований в элементах конструкций ГТД;
- формирование навыков, необходимых для постановки и решения технических задач по прочности и газодинамике АД и ЭУ.

Знания, необходимые для изучения дисциплины «Численное моделирование реальных течений», получены магистрантами ранее на первой ступени высшего образования и в первом семестре магистерской подготовки.

На пороговом уровне ряд компетенций был сформирован за счет обучения на предыдущих уровнях высшего образования (специалитет, бакалавриат).

### Входные компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований, сформировавших данную компетенцию
1	способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности	ОК-2	базовый уровень	Философия

## Исходящие компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований для которых данная компетенция является входной
1	способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-4	Базовый уровень	Информационные технологии проектирования авиационных двигателей и энергетических установок
2	способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-4	Базовый уровень	Моделирование процессов жизненного цикла двигателей и энергоустановок
3	способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-4	Базовый уровень	Вычислительная гидрогазодинамика течений в лопаточных машинах
4	способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-4	Базовый уровень	Применение численных методов в инженерных задачах
5	способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-4	Базовый уровень	Научно-исследовательская работа
6	способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-4	Базовый уровень	Государственная итоговая аттестация

### Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

#### Планируемые результаты обучения по дисциплине

№	Формируемые компетенции	Код	Знать	Уметь	Владеть
1	способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-4	модели течения жидкости, модели турбулентности, принципы проведения численного моделирования рабочего процесса ГТД	выполнять моделирование прочности и газодинамики элементов ГТД и летательных аппаратов	навыками решения задач газодинамики и прочности в программных пакетах с использованием численных методов

### Содержание и структура дисциплины (модуля)

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

Трудоемкость дисциплины по видам работ

Вид работы	Трудоемкость, час.
	1 семестр
Лекции (Л)	12
Практические занятия (ПЗ)	12
Лабораторные работы (ЛР)	24
КСР	3
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.)	48
Подготовка и сдача зачета	9
Вид итогового контроля	Зачет с оценкой

Содержание разделов и формы текущего контроля

№	Наименование и содержание раздела	Количество часов						Литература, рекомендуемая студентам*	Виды интерактивных образовательных технологий**
		Аудиторная работа				СРС	Всего		
		Л	ПЗ	ЛР	КСР				
1.	<p><b>Введение. Математические методы численного решения прочностных и газодинамических задач</b></p> <p>Методы аналитического решения дифференциальных уравнений. Численное дифференцирование и интегрирование. Численные методы решения дифференциальных уравнений.</p>	2	2			4	8	Р.6.1 №3	<p>При проведении лекционных занятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– лекция классическая;</li> </ul> <p>При проведении практических занятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проблемное обучение;</li> <li>– обучение на основе опыта.</li> </ul>
2.	<p><b>Модели прочностных расчетов</b></p> <p>Модели формы, модели поведения материала, модели нагружения, модели разрушения. Ползучесть, длительная прочность. Усталостное разрушение. Методы математического моделирования прочностной надежности, методы испытаний и обработки результатов испытаний. Запасы прочности, долговечность и ресурс. Системы дифференциальных уравнений напряженно-деформированного состояния твердого тела и практические примеры.</p>	2	2	4	1	8	17	Р.6.1 №1 Р.6.1 №2	<p>При проведении лекционных занятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>–проблемная лекция;</li> </ul> <p>При проведении практических занятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проблемное обучение;</li> <li>– обучение на основе опыта.</li> </ul>
3.	<p><b>Колебания лопаток</b></p> <p>Колебания лопаток и их собственные частоты и формы колебаний. Приближенный метод расчета собственных частот колебаний лопаток. Методика конечно-элементного трехмерного расчета собственных частот лопаток. Факторы, влияющие на значения собственных частот лопаток. Формы колебания лопаток. Распределение амплитуд напряжений при колебаниях лопаток. Демпфирование колебаний. Взаимосвязанность колебаний лопаток и диска. Вынужденные колебания лопаток. Методы и сред-</p>	2	2	4		8	16	Р.6.1 №1 Р.6.1 №2	<p>При проведении лекционных занятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>–проблемная лекция;</li> </ul> <p>При проведении практических занятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проблемное обучение;</li> <li>– обучение на</li> </ul>

	ства устранения опасных резонансных колебаний элементов конструкции компрессора и турбины.								основе опыта.
4.	<b>Модели газодинамических расчетов</b> Понятие о турбулентности. Модели турбулентности. Режимы течения жидкости и особенности их моделирования.	2	2	8	2	10	24	Р.6.1 №1	При проведении лекционных занятий: лекция-визуализация. При проведении практических занятий: – проблемное обучение; – обучение на основе опыта.
5.	<b>Принципы проведения газодинамических расчетов</b> Подготовка геометрической модели. Применение свойств симметрии задач для моделирования. Разновидности расчетных сеток. Принципы построения сеток. Особенности задания граничных условий на задачах: обтекание воздухозаборника; обтекание крыла; течение в межлопаточном канале	4	4	8		18	44	Р.6.1 №1	При проведении лекционных занятий: –проблемная лекция; При проведении практических занятий: – проблемное обучение; – обучение на основе опыта.

Занятия, проводимые в интерактивной форме, составляют 100% от общего количества аудиторных часов по дисциплине численное моделирование реальных течений.

### Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	1	Численные методы решения дифференциальных уравнений	2
2	2	Системы дифференциальных уравнений задач прочности и газовой динамики	2
3	3	Метод начальных параметров в расчетах на колебания	2
4	4	Режимы течения жидкости и особенности их моделирования	2
5	5	Особенности задания граничных условий на задачах: обтекание воздухозаборника; обтекание крыла; течение в межлопаточном канале	4

### Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	2	Метод конечных элементов в расчетах на прочность лопаток	2
1	2	Метод конечных элементов в расчетах на прочность дисков	2
2	3	Моделирование внешних и внутренних задач газодинамики на простых примерах	4
3, 4	4	Моделирование обтекания крыла самолета	8
5, 6	5	Моделирование течения в межлопаточном канале	8

#### Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

##### Основная литература

1. Тунаков А.П., Кривошеев И.А., Ахмедзянов Д.А. САПР газотурбинных двигателей: учебное пособие. – Уфа: УГАТУ, 2009. – 292 с.

2\*. Иноземцев А. А. и др. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок / Учебник для специальности “Авиационные двигатели и энергетические установки”. Серия “Газотурбинные двигатели”, – М.: Машиностроение, 2007. – 396 с.

3. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей : [учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Авиа- и ракетостроение" и специальности "Авиационные двигатели и энергетические установки"] / А. М. Ахмедзянов [ др.] ; под ред. А. М. Ахмедзянова. — М. : Машиностроение, 2000 .— 454 с.

\* издание находится на реализующей рабочую программу кафедре.

##### Дополнительная литература

1\*. Вьюнов С.А. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. / С.А. Вьюнов, Ю.И. Гусев, А.В. Карпов – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

2. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели : конструкция и расчет деталей: [учебник для студентов авиационных специальностей вузов] / Г. С. Скубачевский .— 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1981 .— 550 с.

3. Хронин, Д.В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов : Учеб. для авиац. вузов и фак. / Д.В. Хронин .— М. : Машиностроение, 1970. — 412 с.

\* издание находится на реализующей рабочую программу кафедре.

### **Интернет-ресурсы**

1. На сайте библиотеки УГАТУ <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет-ресурсы.
2. <http://www.ansysadvantage.ru/> Инженерно-технический журнал «ANSYS Advantage. Русская редакция»
3. <http://www.cadfem-cis.ru/> Журнал CADFEM REVIEW
4. Сайт ПАО «НПО «Сатурн» <http://www.npo-saturn.ru>.
5. Сайт ОДК <http://www.uk-odk.ru>.
6. Сайт ОАО «Климов» <http://www.klimov.ru>

### **Методические указания к практическим занятиям**

**Занятия 1-5.** Численные методы решения дифференциальных уравнений. Системы дифференциальных уравнений задач прочности и газовой динамики. Метод начальных параметров в расчетах на колебания. Режимы течения жидкости и особенности их моделирования. Особенности задания граничных условий на задачах: обтекание воздухозаборника; обтекание крыла; течение в межлопаточном канале.

Используется 1\* - стр. 1-796.

1. \*Software for Fluid Dynamic ANSYS CFX – Ver. 15 / ANSYS CFX Tutorials – ANSYS Inc. – 2015. – 796 p.

\* издание находится на реализующей рабочую программу кафедре.

### **Методические указания к лабораторным занятиям**

**Занятия 1-6.** Метод конечных элементов в расчетах на прочность лопаток. Метод конечных элементов в расчетах на прочность дисков. Моделирование внешних и внутренних задач газодинамики на простых примерах. Моделирование обтекания крыла самолета. Моделирование течения в межлопаточном канале.

Используется 1\* - стр. 1-34, 2\* - стр. 1-22, 3\*- стр.1-21, 4\* - стр. 1-34.

1. \*Методические указания к расчету на прочность лопаток авиационных газотурбинных двигателей с использованием ЭВМ /Тархов Л.Н. -Уфа: УГАТУ 2006.- 34с.
2. \*Методические указания к расчету на прочность дисков авиационных газотурбинных двигателей с использованием ЭВМ /Харитонов В.Ф. - Уфа: УГАТУ, 2006,-22с.
3. \*Методические указания к лабораторному практикуму “Конструкция авиационных газотурбинных двигателей” (сост. Харитонов В.Ф.) – Уфа, изд. УГАТУ, 2004, 21 с.
4. \*Харитонов В.Ф. Материалы авиационных двигателей. Методическое руководство. / В.Ф. Харитонов – Уфа, изд. УГАТУ, 2005, -34с.

\*издание находится на реализующей рабочую программу кафедре.

### **Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий**

- ANSYS 15.0;
- Операционная система Windows 7;
- Интегрированный пакет Microsoft Office 2007;
- Архиватор 7ZIP .

### **Образовательные технологии**

В процессе подготовки магистров по дисциплине «Численное моделирование реальных течений» используется совокупность методов и средств обучения, позволяющих осуществлять целенаправленное методическое руководство учебно-познавательной

деятельностью магистрантов, в том числе на основе интеграции информационных и традиционных педагогических технологий.

В частности, предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Классическая лекция, предусматривающая систематическое, последовательное, монологическое изложение учебного материала.
2. Проблемная лекция, стимулирующая творчество, осуществляемая с подготовленной аудиторией (преимущественно во втором семестре изучения дисциплины)
3. Лекция-визуализация – передача информации посредством схем, таблиц, рисунков, видеоматериалов, проводится по ключевым темам с комментариями.
4. Проблемное обучение, стимулирующее магистрантов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.
5. Контекстное обучение – мотивация магистрантов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретным знанием и его применением.
6. Обучение на основе опыта – активизация познавательной деятельности магистранта за счет ассоциации и собственного опыта с предметом изучения,

При реализации настоящей рабочей программы предусматриваются интерактивные и активные формы проведения занятий, дискуссии по темам исследования и поставленным научным проблемам.

### **Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Пакеты прикладных программ по анализу и моделированию летательных аппаратов и авиационных двигателей: ANSYS 15.0; Siemens NX 9.0.

Технические средства обучения:

Учитывая большой объем часов на самостоятельное изучение дисциплины, определенное место в методике освоения материалов рекомендуется уделять индивидуальным консультациям.

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используется кабинет конструкции авиационной техники (2-120), лаборатория прочности (2-118), компьютерные классы (2-506, 2-507, 2-510).

Дисплейные классы (2-507, 2-510) оснащены средствами мультимедиа, интерактивными досками с проекторами, двадцатью 2-х и 4-х ядерными компьютерами, подключенными к сети Internet и суперкомпьютеру УГАТУ.

### **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.