

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 20 » февраля 20\_\_ г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** \_\_\_\_\_ Математическое моделирование авиационных двигателей  
(наименование)

**Форма обучения:** \_\_\_\_\_ очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** \_\_\_\_\_ магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 108 (3)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** \_\_\_\_\_ 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов  
(код и наименование направления)

**Направленность:** \_\_\_\_\_ Проектирование и конструкция двигателей и энергетических  
установок летательных аппаратов  
(наименование образовательной программы)

# 1. Общие положения

## 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины :

Формирование знания технологии разработки математической модели авиационного двигателя в процессе обучения.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет

следующие профессиональные и профильно-специализированные компетенции:

- способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности;
- способность проводить технические расчеты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа проектируемых изделий и конструкций;
- способность проводить диагностику режимов работы авиационных и ракетных двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

Задачи дисциплины:

- изучение основ методологии разработки математических моделей сложных технических систем на примере авиационного двигателя;
- формирование умения разрабатывать математические модели различного уровня применительно к процессам в авиационных двигателях;
- формирование умения разрабатывать вычислительные алгоритмы решения задач математического моделирования авиационных двигателей;
- формирование навыков выбора уровня математической модели для решения конкретной задачи.

## 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- математическая модель авиационного двигателя как термодинамической системы;
- авиационные двигатели и рабочие процессы авиационных двигателей;
- задачи численного моделирования процессов в авиационных двигателях;
- параметрическая диагностика авиационного двигателя.

## 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-1ПК-1.2	Знает: – технологию постановки задачи оптимального проектирования авиационных двигателей;	Знает основы проведения экспериментальных работ и теоретические основы рабочих процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов.	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	Умеет: – определять оптимальные параметры конкретного авиационного двигателя для конкретного самолета;	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для обработки результатов экспериментов и испытаний, моделирования рабочих процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов и их агрегатах.	Защита лабораторной работы
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	Владеет: – навыками расчета оптимальных параметров авиационного двигателя.	Владеет навыками постановки исследовательских (расчётно-теоретических и экспериментальных) задач; планирования и проведения вычислений, экспериментов и испытаний; анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по двигателям и энергетическим установкам летательных аппаратов.	Контрольная работа
ПК-2.4	ИД-1ПК-2.4	Знает: – типовые схемы авиационных двигателей и методы их отображения с помощью математических моделей; – современные методы математического моделирования процессов в авиационных двигателях;	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов.	Контрольная работа
ПК-2.4	ИД-2ПК-2.4	Умеет: – осуществлять постановку задачи численного моделирования процессов в авиационных двигателях и составление алгоритма ее решения; – задавать для неё начальные и граничные условия;	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.4	ИД-3ПК-2.4	Владеет: –навыками выбора уровня математической модели для решения конкретных задач проектирования авиационных двигателей.	Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		4	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	36	36	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	14	14	
- лабораторные работы (ЛР)	18	18	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

#### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
4-й семестр				
Математические модели физических процессов и технология их применения при создании двигателей	4	0	0	12
<p>Введение. Предмет и цель изучения курса «математическое моделирование авиационных двигателей». Газотурбинный двигатель как объект проектирования. Главная задача термогазодинамического проектирования—определение его выходных характеристик на стационарных и нестационарных режимах при любом сочетании полетных и погодных условий.</p> <p>Тема 1. Общие сведения о математическом моделировании.</p> <p>Понятие математической модели объекта. Основные задачи, решаемые с помощью математического моделирования. Виды моделей и их классификация по уровню описания физических процессов. Комбинации моделей разного уровня. Фокусирование. Модели, работающие в реальном масштабе времени.</p> <p>Тема 2. Определение облика двигателя с помощью модели самолета.</p> <p>Основные положения методологии оптимального проектирования. Критерии оптимизации и требования, ограничивающие задачу оптимизации. Условия определения облика двигателя. Математическая модель самолета, или поляра. Область полетов самолета (эксплуатации двигателя). Определение потребных тяг двигателя. Данные для проектирования двигателя. Ожидаемые условия эксплуатации.</p> <p>Тема 3. Критерии оптимизации авиационного двигателя.</p> <p>Экономический критерий: стоимость жизненного цикла. Технические критерии: экономичность и кпд двигателя, дальность полета самолета (максимальная транспортная работа). Оптимальное соотношение скорости истечения и скорости полета, оптимизация кпд и степени двухконтурности.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Методика построения математической модели двигателя.	6	14	0	36
<p>Тема 4. Блок-схема математической модели ГТД. Разбиение ГТД как системы на подсистемы (блоки) и составление системы уравнений связей между блоками.</p> <p>Тема 5. Понятие расходной характеристики узла. Расходная характеристика как замыкающий (граничный) элемент системы. Типовые расходные характеристики компрессора, турбины, сопла.</p> <p>Тема 6. Критерии подобия режимов работы ГТД. Практический смысл применения критериев подобия для математических моделей узлов двигателя и двигателя в целом. Формирование критериев подобия. Геометрическое, кинематическое и гидродинамическое подобие режимов работы.</p> <p>Тема 7. Физические основы построения математической модели камеры сгорания. Закон Гесса. Теплотворная способность топлива. Теоретически необходимое количество окислителя и коэффициент избытка воздуха. Условия устойчивого горения.</p> <p>Тема 8. Основы механизмов формирования эмиссии вредных веществ. Механизм генерации вредных веществ. Традиционная технология организации горения. Нормирование эмиссии окислов азота. Основные пути развития малоэмиссионных камер сгорания.</p> <p>Тема 9. Математическая модель системы управления двигателем. Принципиальная схема системы управления. ПИД-регулятор. Дополнительные функции системы управления, многоконтурность.</p> <p>Тема 10. Особенности моделирования процессов в смесителе и определение гидравлических потерь по тракту двигателя. Функция и смысл применения смесителя в двухконтурном двигателе. Особенности математической модели смесителя и ее применение.</p>				
Математическое моделирование стационарных, нестационарных и автоколебательных процессов в ГТД.	2	4	0	18
Тема 11. Общая постановка задачи моделирования. Формирование граничных и начальных условий. Исходные данные. Система дифференциальных уравнений математической модели. Рекуррентные соотношения. Условия окончания процесса моделирования (интегрирования системы				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
уравнений): асимптотическое и периодическое решения. Тема 12. Особенности моделирования автоколебательных процессов в компрессоре и камере сгорания. Причины автоколебательности системы: краевые условия с энергетической подпиткой, наличие нелинейного элемента в системе (невозможность стационарного решения) и обратной связи. Упрощенные модели срыва горения в камере сгорания и помпажа в компрессоре.				
Применение математической модели ГТД в задачах диагностики технического состояния двигателей.	2	0	0	6
Тема 13. Задача диагностики технического состояния объекта Измеряемые и неизмеряемые параметры. Представление измеряемых параметров объекта в виде разложения функции в ряд Тэйлора в окрестности режима по неизмеряемым параметрам. Решение системы линейных уравнений относительно неизмеряемых параметров. Пример решения задачи.				
ИТОГО по 4-му семестру	14	18	0	72
ИТОГО по дисциплине	14	18	0	72

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Методика структурирования двигателя на подсистемы, составление блок-схемы и системы уравнений
2	Построение модели системы управления двигателем.
3	Формирование граничных и начальных условий. Исходные данные.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Августинович В. Г. Математическое моделирование авиационных двигателей : учебное пособие / В. Г. Августинович. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	48
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. - М.: , Машиностроение, 2008. - (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок : учебник для вузов : в 5 т.; Т. 5).	40
2	Нестационарные явления в турбомашинах (Численное моделирование и эксперимент) / В. Г. Августинович [и др.]. - Екатеринбург Пермь: Ин-т механики сплош. сред УрО РАН, 1999.	3

3	Общие сведения. Основные параметры и требования. Конструктивные и силовые схемы. - М.: , Машиностроение, 2008. - (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок : учебник для вузов : в 5 т.; Т. 1).	40
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника, гл. ред. Бульбоивч Р.В., 2015-2019, №№40-59	<a href="http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/">http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
	Не требуется

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	<a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
База данных компании EBSCO	<a href="https://www.ebsco.com/">https://www.ebsco.com/</a>

## **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Макет двигателя ПС-90	1
Лекция	Лаборатория конструкции АД (20 посадочных мест)	20

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**«Математическое моделирование авиационных двигателей»**  
**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**  
**Приложение к рабочей программе дисциплины**

<b>Направление подготовки:</b>	<u>24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов»</u>
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	<u>«Проектирование и конструкция двигателей и энергетических установок летательных аппаратов»</u>
<b>Квалификация выпускника:</b>	<u>магистр</u>
<b>Выпускающая кафедра:</b>	<u>«Авиационные двигатели»</u>
<b>Форма обучения:</b>	<u>очная</u>

**Курс:** 2

**Семестр:** 3

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 3Е

Часов по рабочему учебному плану: 108 ч

**Форма промежуточной аттестации:**

Экзамен: - нет Диф.зачёт: - нет Зачёт: - 3 Курсовой проект: - нет Курсовая работа: - нет

**Пермь, 2020 г.**

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

## 1.2 Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (1-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВЫ)	Вид контроля						
	Текущий		Рубежный			Промежуточная аттестация	
	С	ТО	ОЛР	КЗ	РКР		Зачёт
<b>Усвоенные знания</b>							
3.1. типовые схемы авиационных двигателей и методы их отображения с помощью математических моделей	С1	ТО1					ТВ
3.2. современные методы математического моделирования процессов в авиационных двигателях	С1	ТО1					ТВ
3.3. технологию постановки задачи оптимального проектирования авиационных двигателей	С2	ТО2					ТВ
3.4 технологию построения диагностической математической модели авиационного двигателя	С3	ТО3					ТВ
<b>Освоенные умения</b>							
У.1 осуществлять постановку задачи численного моделирования процессов			ОЛР1	КЗ1	РКР1		ОПС

в авиационных двигателях и составление алгоритма ее решения							
У.2 задавать для неё начальные и граничные условия			ОЛР1	КЗ1	РКР1		ОПС
У.3 определять оптимальные параметры конкретного авиационного двигателя для конкретного самолета			ОЛР?	КЗ2	РКР2		ОПС
У.4. решить задачу или составить алгоритм ее решения			ОЛР3	КЗ3	РКР3		ОПС
<b>Приобретенные владения</b>							
В.1 навыками выбора уровня математической модели для решения конкретных задач проектирования авиационных двигателей			ОЛР1	КЗ1	РКР1		ОПС
В.2 – навыками расчета оптимальных параметров авиационного двигателя			ОЛР2	КЗ2	РКР2		ОПС
В.3 навыками применения прикладного программного обеспечения для вычислительного эксперимента			ОЛР3	КЗ3	РКР3		ОПС

*С – собеседование по теме; ТО – выборочный теоретический опрос; КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; РКР – рубежная контрольная работа в форме защиты КЗ; ТВ – теоретический вопрос; ОПС – оценка практических ситуаций во время ответа на теоретический вопрос.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или

бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

## **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 9 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.3. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД в качестве рубежной контрольной работы по каждому учебному модулю производится защита выполненной кейс-задачи, а именно:

- по модулю 1 «Общие сведения о математическом моделировании. Математическая модель авиационного ГТД» – К31 и К32,
- по модулю 2 «Математическое моделирование стационарных, нестационарных и автоколебательных процессов в ГТД» – К31,
- по модулю 3 «Применение математической модели ГТД в задачах диагностики технического состояния двигателей» – К33.

### **Типовые задания первой КР:**

1. Осуществлять постановку задачи численного моделирования процесса горения в КС авиационного двигателя.
2. Определять оптимальные параметры авиационного двигателя для ближне-

магистрального самолёта.

### **Типовые задания второй КР:**

1. Осуществлять постановку задачи численного моделирования в форсажной камере двигателя малой степени двухконтурности.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы

### **2.3 Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной магистерской программы.

#### **2.3.1. Индивидуальные задания**

Согласно РПД на группу студентов 2-3 человека предусмотрены индивидуальные задания (кейс-задачи) по трем учебным модулям.

Первый кейс (К31) по модулю 1 и 2: «Разработка математической модели конкретного двигателя (из банка данных)».

Второй кейс (К32) по модулю 1: «Определение оптимальных параметров двигателя для транспортного самолета типа Ту-330».

Третий кейс (К33) по модулю 3: «Провести параметрическую идентификацию состояния двигателя ПС-90А по конкретным отклонениям параметров (набор вариантов-из банка данных)».

#### **2.3.2 Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

#### **2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при про-

ведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

##### **2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачёта по дисциплине**

###### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Объяснить понятие математической модели объекта.
2. Перечислить и объяснить виды математических моделей, фокусирование.
3. Записать формулу и объяснить суть одной из необходимых для описания гидрогазодинамических явлений теорем математики.
4. Дать и описать характеристики свойств рабочего тела.
5. Дать описание расходной характеристики как замыкающего (граничного) элемента системы и типовой расходной характеристики одного из узлов (по указанию преподавателя или заданию в вопросе).
6. Объяснить и математически описать характерные скорости потока.
7. Записать один из законов сохранения в общей и одномерной форме.
8. Описать и дать анализ газодинамических функций для описания параметров потока.
9. Функция и смысл применения смесителя в двухконтурном двигателе.

###### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений и приобретённых владений:**

Не предусмотрены в связи с тем, что во время ответов на теоретические вопросы и обсуждением их между преподавателем и студентом проверяются умения и навыки делать оценку той или иной практической ситуации, сопряжённой с содержанием теоретического вопроса.

*Примеры сопряжённых практических ситуаций:*

– *оценить изменение времени переходных (нестационарных) процессов, если на этапе проектирования в компрессоре принять пониженную осевую скорость потока при сохранении числа ступеней;*

– *описать особенности математической модели смесителя и ее применения;*

– *оценить изменение скорости истечения из сопла при замене рабочего тела при сохранении прочих условий;*

– в каких условиях звук от его источника раньше достигнет регистратора звука, расположенного на одном и том же удалении: на высоте в горах в сухую жаркую погоду или в низменной пойме реки;

– когда ошибка измерения или расчёта скорости потока косвенным способом (по статическому и полному давлению) будет больше: при малых или больших скоростях;

– что следует понимать под малыми и большими скоростями: будет ли скорость 100 м/с истечения из отверстия при температуре торможения 1000 К больше скорости полёта тела 80 м/с на высоте при температуре 250 К;

– будет ли сохраняться масса рабочего тела постоянной в канале с известным объёмом при внезапном уменьшении выходного сечения.

*Полный перечень теоретических вопросов в форме утвержденного комплекта зачётных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

#### **2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачёте**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.