

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



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 01 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Газовая динамика двигателей летательных аппаратов
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 252 (7)
(часы (ЗЕ))

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

Направленность: Аэродинамика, гидродинамика и процессы теплообмена
двигателей летательных аппаратов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является формирование профессиональных компетенций, связанных с газодинамическими процессами, протекающими в основных частях и элементах двигателя ДЛА; формирование научно-технического мировоззрения на основе знания особенностей сложных технических систем; воспитание технической культуры.

Задачи дисциплины:

- изучение основ теории течения продуктов сгорания ракетных топлив (однофазных и двухфазных) в камере сгорания и в сопле;
- ознакомление с современными подходами и методами в области моделирования газодинамических процессов;
- формирование умения расчёта процессов газодинамики с использованием современных компьютерных программ;
- формирование навыков построения математических моделей газодинамики элементов ракетного двигателя (камеры сгорания и сопла) и проверки их адекватности.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- газодинамические потоки в элементах двигателя ДЛА: камере сгорания и сопле;
- газодинамические процессы в ракетном двигателе;
- методы анализа и оптимизации газодинамических процессов в ракетном двигателе;
- методология проектирования камеры сгорания и сопла ракетного 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-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает: – основные понятия определения и уравнений газодинамики; – основы теории течения продуктов сгорания ракетных топлив (однофазных и двухфазных) в камере сгорания и в сопле; – методологию газодинамического расчёта элементов ракетного двигателя (камеры сгорания и сопла).	Знает теоретические основы рабочих процессов в ракетных двигателях.	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – формулировать критерии и направления оптимизации газодинамических процессов; – оценивать конструкторские мероприятия по повышению газодинамической эффективности и надёжности двигателя ДЛА; – формулировать конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение газодинамической эффективности двигателя ДЛА. 	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в ракетных двигателях и их агрегатах.	Защита лабораторной работы
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	<p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – методами анализа мероприятий, направленных на повышение газодинамической эффективности и надёжности двигателя ДЛА; – перспективными методиками исследования газодинамических процессов в двигателе ДЛА и повышением их эффективности. 	Владеет навыками постановки исследовательских задач, планирования и проведения вычислений, анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании ракетных двигателей.	Курсовая работа

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	81	45	36
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	32	18	14
- лабораторные работы (ЛР)	43	25	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	6	2	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	99	63	36
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	72	36	36
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18		18
Общая трудоемкость дисциплины	252	144	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	
1-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основные понятия, определения и уравнения газовой динамики	9	12	0	31
<p>Введение.</p> <p>История развития ракетных двигателей. Основные элементы ракетного двигателя и газодинамические процессы, проходящие в них. Связь газодинамики с другими дисциплинами. Основные задачи газодинамики двигателей летательных аппаратов.</p> <p>Тема 1. Векторно-тензорный математический аппарат для описания сплошной среды</p> <p>Скалярные, векторные и тензорные величины и действия с ними. Векторные операторы и действия с ними. Поток вектора и теорема Остроградского-Гаусса. Циркуляция вектора и теорема Стокса. Полная, локальная и конвективные производные.</p> <p>Тема 2. Основные понятия и определения газодинамики</p> <p>Свойства жидкостей и газов. Сжимаемость. Сжимаемый и несжимаемый газ. Вязкость. Вязкий и невязкий газ. Сплошность среды. Элементарный объём, линии тока, трубка тока, элементарная струйка. Методы изучения движения газа (Лагранжев и Эйлеров подходы).</p> <p>Тема 3. Основные положения теории гидрогазодинамики</p> <p>Уравнение неразрывности. Уравнение движения невязкой (идеальной) жидкости (уравнение Эйлера). Тензор напряжений. Тензор вязких напряжений. Уравнение движения вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса). Уравнение энергии. Начальные и граничные условия. Критерии гидродинамического и теплового подобия. Стационарное и нестационарное (установившееся и неуставившееся), ламинарное и турбулентное, потенциальное и вихревое движения жидкости.</p>				
Термогазодинамика ракетного двигателя	9	13	0	32
<p>Тема 4. Термодинамика газовых потоков</p> <p>Первый закон термодинамики для газовых потоков. Энтальпия заторможенного потока. Статические и динамические параметры. Скорость звука. Истечение из суживающихся сопел. Переход через скорость звука. Сопло Лавалья. Характерные скорости и относительные параметры течения. Ударные волны. Прямые и косые скачки уплотнения.</p> <p>Тема 5. Одномерные течения газа</p> <p>Основные уравнения одномерного потока. Одномерные течения при различных воздействиях на поток. Закон обращения воздействия. Газодинамические функции. Расчёт газовых течений с помощью газодинамических функций.</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
Приведение технических задач к одномерной схеме. Реактивная сила (тяга) ракетного двигателя. Расчёт тяги ракетного двигателя. Составляющие тяги. Место приложения тяги.				
ИТОГО по 1-му семестру	18	25	0	63
2-й семестр				
Газодинамика в камере сгорания ракетного двигателя	7	9	0	18
Тема 6. Осесимметричные течения газа Уравнения неразрывности, движения и энергии в цилиндрических координатах. Граничные условия. Осесимметричное установившееся движение. Потенциальное осесимметричное движение. Точные решения для осесимметричных закрученных потоков. Течение в цилиндрическом канале и конической трубе. Тема 7. Квазистационарный процесс течения газа в камере сгорания Камеры сгорания ракетного двигателя: изобарная, скоростная (предельный случай – камера с полутепловым соплом), с распределённым подводом рабочего тела (предельный случай – полурасходное сопло). Расчёт процесса течения продуктов сгорания в цилиндрическом канале заряда твёрдого топлива.				
Течение продуктов сгорания в сопле ракетного двигателя	7	9	0	18
Тема 8. Течение газа в соплах Модели течения газа в соплах: равновесное, неравновесное, химически замороженное. Изоэнтропность процесса расширения. Теоретические основы исследования параметров течения: модель невязкого нетеплопроводного газа. Тема 9. Двухфазные течения продуктов сгорания в РДТТ Особенности движения двухфазной смеси. Основные допущения и схема расчёта. Уравнения одномерного течения двухфазных продуктов сгорания в сопле. Механизм столкновения частиц. Дробление частиц. Коагуляция частиц. Двухфазные потери в сопле и их составляющие.				
ИТОГО по 2-му семестру	14	18	0	36
ИТОГО по дисциплине	32	43	0	99

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Анализ стационарного и нестационарного течения газа
2	Анализ невязкого и вязкого течения газа
3	Анализ ламинарного и турбулентного движения газа
4	Анализ потенциального и вихревого движения газа
5	Анализ течения газа в сопле Лавалья
6	Профилирование сопла Лавалья
7	Расчёт газовых течений с помощью газодинамических функций
8	Расчёт тяги ракетного двигателя
9	Анализ течения вязкого газа в цилиндрическом канале
10	Анализ течения вязкого газа в конической трубе
11	Анализ газодинамических процессов в изобарной камере сгорания ракетного двигателя
12	Анализ газодинамических процессов в скоростной камере сгорания ракетного двигателя
13	Анализ течения двухфазных продуктов сгорания в камере сгорания ракетного двигателя
14	Анализ течения двухфазных продуктов сгорания в сопле ракетного двигателя

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Газотермодинамический расчёт установки, использующей ЖРД для моделирования полёта в атмосфере сверх- и гиперзвуковых летательных аппаратов

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
1. Основная литература		
1	Ерохин Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей : учебник для вузов / Б. Т. Ерохин. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2015.	26
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика : учебник для вузов / Г. Н. Абрамович. - Москва: Наука, Физматлит, 1976.	30
2	Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твердого топлива / А.М. Губертов [и др.]. - М.: Машиностроение, 2004.	27
3	Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : учебник для вузов / М.В.Добровольский. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006.	15
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	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	Добровольский, М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : учебник	https://e.lanbook.com/book/106355	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Дорофеев, А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование : учебное пособие	https://e.lanbook.com/book/106391	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Ерохин Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей : учебник для вузов / Б. Т. Ерохин. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2015.	http://elib.pstu.ru/Record/lan60037	сеть Интернет; свободный доступ

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

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978)

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Компьютеры	12
Лабораторная работа	Компьютеры	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Газовая динамика двигателей летательных аппаратов»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов»
Направленность (профиль) образовательной программы:	Аэродинамика, гидродинамика и процессы теплообмена двигателей летательных аппаратов
Квалификация выпускника:	магистр
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
Форма обучения:	очная

Курс: 1

Семестр: 1, 2

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 7 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану: 252 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен: 1 семестр. Экзамен: 2 семестр.

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

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (1-го и 2-го семестра учебного плана) и разбито на 4 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, усвоенных 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		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен	Экзамен
Усвоенные знания						
З.1 знать основные понятия, определения и уравнения газодинамики		ТО1		КР1 КР2	ТВ	ТВ
З.2 знать методологию газодинамического расчёта элементов ракетного двигателя	С1	ТО2		КР3 КР4	ТВ	ТВ
Освоенные умения						
У.1 уметь формулировать критерии оптимизации газодинамических процессов			ОЛР1 ОЛР4	КР1 КР2	ПЗ	ПЗ
У.2 уметь формулировать конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение газодинамической эффективности двигателя ДЛА			ОЛР2 ОЛР3 ОЛР5	КР3 КР4	ПЗ	ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 владеть методами анализа мероприятий, направленных на повышение эффективности газодинамических процессов			ОЛР6 ОЛР8 ОЛР9		ПЗ	ПЗ
В.2 владеть методами анализа мероприятий, направленных на повышение газодинамической эффективности двигателя ДЛА			ОЛР7 ОЛР10 ОЛР11 ОЛР12		ПЗ	ПЗ

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде 2-х экзаменов, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

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

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, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 14 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.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 4 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основные понятия, определения и уравнения газовой динамики», вторая КР – по модулю 2 «Термогазодинамика ракетного двигателя», третья КР – по модулю 3 «Газодинамика в камере сгорания ракетного двигателя», четвёртая КР – по модулю 4 «Течение продуктов сгорания в сопле ракетного двигателя».

Типовые задания первой КР:

1. Ввести основные понятия и определения газодинамики.
2. Написать систему дифференциальных уравнений невязкого газа.
3. Написать систему дифференциальных уравнений вязкого газа.
4. Ввести критерии гидродинамического и теплового подобия.

5. Рассмотреть стационарное и нестационарное, ламинарное и турбулентное, потенциальное и вихревое движения жидкости.

Типовые задания второй КР:

1. Определить статические и динамические параметры потока газа.
2. Определить характерные скорости и относительные параметры течения.
3. Написать основные уравнения одномерного потока.
4. Газодинамические функции. Расчёт газовых течений с помощью газодинамических функций.
5. Реактивная сила (тяга) ракетного двигателя. Расчёт тяги ракетного двигателя.

Типовые задания третьей КР:

1. Написать уравнения неразрывности, движения и энергии в цилиндрических координатах.
2. Рассмотреть: осесимметричное установившееся движение, потенциальное осесимметричное движение.
3. Рассмотреть течение в цилиндрическом канале и конической трубе.
4. Описать процессы в изобарной и скоростной камерах сгорания ракетного двигателя.
5. Описать процессы в камере сгорания ракетного двигателя с распределённым подводом рабочего тела.

Типовые задания четвёртой КР:

1. Рассмотреть разные модели течения газа в соплах: равновесное, неравновесное, химически замороженное и фазово- замороженное.
2. Рассмотреть изоэнтропность процесса расширения и модель невязкого нетеплопроводного газа.
3. Описать особенности движения двухфазной смеси в камере сгорания и сопле РДТТ.
4. Описать механизм столкновения частиц, дробление и коагуляцию частиц.
5. Рассмотреть двухфазные потери в сопле и их составляющие.

2.3. 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.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно 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. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.1.1 Типовые вопросы и задания для 1-го экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Основные понятия и определения газодинамики. Модели жидкости.
2. Система дифференциальных уравнений невязкого газа.
3. Система дифференциальных уравнений вязкого газа.
4. Стационарное и нестационарное, ламинарное и турбулентное, потенциальное и вихревое движения жидкости.
5. Критерии гидродинамического и теплового подобия.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Проанализировать одномерные течения при различных воздействиях на поток.
2. Провести расчёт газовых течений с помощью газодинамических функций.
3. Провести расчёт тяги ракетного двигателя.
4. Определить предельную скорость движения газовой смеси при её заданном составе и энтальпии.
5. Определить параметры газового потока (температуру, скорость, число Маха, коэффициент адиабаты) на срезе сопла РДТТ при заданном составе топлива и параметрах двигателя.

2.3.1.2 Типовые вопросы и задания для 2-го экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Закон обращения воздействия.
2. Реактивная сила (тяга) ракетного двигателя.
3. Камеры сгорания ракетного двигателя: изобарная, скоростная, с распределённым подводом рабочего тела.
4. Модели течения газа в соплах: равновесное, неравновесное, химически замороженное.
5. Особенности движения двухфазной смеси в камере сгорания и сопле РДТТ.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Провести сравнение стационарного и нестационарного течения газа.
2. Провести сравнение невязкого и вязкого течения газа.
3. Провести сравнение ламинарного и турбулентного движения газа.
4. Провести сравнение потенциального и вихревого движения газа.
5. Определить критерии Прандтля и Рейнольдса в критическом сечении сопла РДТТ при заданном составе топлива и параметрах двигателя.

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

2.3.2 Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена 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 экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2 Оценка уровня сформированности компетенций

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.