

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

« 17 » февраля 20 ____ 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. 	<p>Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в ракетных двигателях и их агрегатах.</p>	<p>Защита лабораторной работы</p>
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. 	<p>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.</p>	<p>Курсовая работа</p>

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.</p> <p>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 неустановившееся), 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. Изэнтропность 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
