

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

« 07 » марта \_\_\_\_\_ 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** \_\_\_\_\_ Основы теории тепловых двигателей  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 180 (5)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** \_\_\_\_\_ 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных  
двигателей  
(код и наименование направления)

**Направленность:** \_\_\_\_\_ Проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива  
(СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель – изучение теории тепловых двигателей и двигательных установок.

Задачи дисциплины:

- изучение теоретических основ функционирования тепловых двигателей и установок;
- формирование умения анализировать работу узлов и агрегатов двигательных установок;
- формирование навыков выбора оптимальных конструктивных схем двигательных установок.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- тяговые характеристики;
- идеальные и реальные процессы;
- схемы двигательных установок;
- узлы и агрегаты двигательных установок.

### 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
ОПК-5	ИД-1ОПК-5	Знает основы функционирования узлов и агрегатов двигательных установок.	Знает методы разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов профессиональной деятельности.	Экзамен
ОПК-5	ИД-2ОПК-5	Умеет проводить анализ рабочего процесса в агрегатах двигательных установок.	Умеет разрабатывать и использовать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов для решения инженерных задач.	Расчетно-графическая работа
ОПК-5	ИД-3ОПК-5	Владеет навыками выбора оптимальных конструкторских схем двигательных установок.	Владеет навыками решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической технике современными методами.	Отчёт по практическому занятию

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	64	64	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	44	44	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18	18	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	80	80	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	180	

### 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
7-й семестр				
Теория теплового ракетного двигателя	20	0	6	30
Идеальный двигатель. Классификация газотурбинных и ракетных двигателей. Тяга. Составляющие тяги. Удельный импульс. Основы теории и режимы работы сверхзвукового сопла. Дроссельные и высотные характеристики. Неидеальный двигатель. Основные различия реальных и идеальных рабочих процессов. Система коэффициентов потерь в РД и ГТД. Камеры сгорания, их параметры и оценка совершенства внутрикамерного процесса. Потери в соплах и их расчет. Профилирование сопел. Работа сопел на режимах перерасширения при больших степенях нерасчетности. Дроссельные и высотные характеристики на этих режимах. Состояние и перспективы развития теории тепловых двигателей.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Жидкостные ракетные двигательные установки	10	0	4	20
Двигательные установки с турбонасосной подачей без дожигания. Двигательные установки с турбонасосной подачей с дожиганием. Замкнутые схемы «газ+жидкость» и «газ+газ». Двигательные установки с вычислительной системой подачи. Газобаллонная система. Пороховые и жидкостные аккумуляторы давления. Топливные баки. Арматура системы подачи. Определение давления подачи и гидравлических характеристик системы подачи. Системы управления и регулирования.				
Рабочие процессы в агрегатах ЖРДУ	14	0	8	30
Сопла ЖРД. Типы сопел и основные требования к ним. Потери удельного импульса в сопле. Проектирование профилированных сопел. Работа сопла на нерасчетных режимах при больших противодавлениях. Смесительная головка и смесеобразование. Струйные, центробежные и двухкомпонентные форсунки. Головки камеры ЖРД. Охлаждение ЖРД. Способы охлаждения. Формы охлаждающих трактов. Расчет охлаждения ЖРД. Некоторые специальные случаи охлаждения ЖРД. Камера сгорания ЖРД. Внутрикамерный рабочий процесс. Определение геометрических размеров камеры. Турбонасосный агрегат. Насосы для подачи компонентов и их характеристики. Турбины и их характеристики. Совместная работа турбины и насоса. Газогенераторы.				
ИТОГО по 7-му семестру	44	0	18	80
ИТОГО по дисциплине	44	0	18	80

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Расчеты диаметров и площадей поперечных сечений проточной части (камеры сгорания, критического и выходного сечений сопла), удельного импульса и расхода топлива
2	Расчет и построение дроссельных характеристик двигателя при трех значениях давления окружающей среды: заданном, уменьшенном и увеличенном в 2 раза
3	Расчет и построение высотных характеристик двигателя при трех значениях давления в камере: заданном, уменьшенном и увеличенном в 2 раза
4	Определение параметров системы турбонасосной подачи топлива с дожиганием генераторного газа

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
5	Определение параметров системы турбонасосной подачи топлива без дожигания генераторного газа
6	Определение параметров вытеснительной системы подачи топлива
7	Определение геометрических размеров КС и сопла. Профилирование сопла
8	Расчеты смесительной головки и форсунок
9	Расчеты наружного проточного охлаждения

## 5. Организационно-педагогические условия

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

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором 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 установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

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 практическим занятиям 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	Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : Учеб. для вузов / М.В.Добровольский. - М.: МГТУ, 2005.	18
2	Евграшин Ю. Б. Проектирование и отработка ракетных двигателей на твёрдом топливе : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Евграшин. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	152
3	Ерохин Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей : учебник для вузов / Б. Т. Ерохин. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2015.	26
4	Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства. - М.: , Машиностроение, 2008. - (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок : учебник для вузов : в 5 т.; Т. 2).	39
5	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. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Шишков А. А. Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива : справочник / А. А. Шишков, С. Д. Панин, Б. В. Румянцев. - М.: Машиностроение, 1989.	25
<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)
Основная литература	Добровольский М. В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : учебник для высших учебных заведений / Добровольский М. В. - Москва: МГТУ им. Баумана, 2016.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-106355">http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-106355</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Дорофеев А. А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование / Дорофеев А. А. - Москва: МГТУ им. Баумана, 2014.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-106391">http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-106391</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Евграшин Ю. Б. Проектирование и отработка ракетных двигателей на твёрдом топливе : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Евграшин. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2739">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2739</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Ерохин Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей / Ерохин Б. Т. - Санкт-Петербург: Лань, 2015.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan60037">http://elib.pstu.ru/Record/lan60037</a>	сеть Интернет; авторизованный 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 )
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	КОМПАС-3D V18 Уч.вер.(АКФ, МКМК, лиц.Иж-17-00089)

### **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	<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>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
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>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютер	12

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

Описан в отдельном документе
------------------------------

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Основы теории тепловых двигателей»

---

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Специальность:</b>	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
<b>Специализация программы специалитета</b>	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
<b>Квалификация выпускника:</b>	инженер
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Специальность:</b>	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

**Курс:** 4

**Семестр:** 7

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 5 ЗЕ  
Часов по рабочему учебному плану: 180 ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Экзамен: 7 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Основы теории тепловых двигателей». 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 одного семестра (7-го семестра учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические 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 экзамена. 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		Промежуточный	
	С	ТО	ПЗ	Т/КСР		Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>З.1</b> знать методы разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов профессиональной деятельности.		ТО1-ТО8		КСР1-КСР2		ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> уметь разрабатывать и использовать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов для решения инженерных задач.			ОПЗ1-РПЗ9	КСР1-КСР2		ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> владеть навыками решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической технике современными методами.			ОПЗ1-ОПЗ9			КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – теоретический опрос; ОПЗ – отчет по практическому занятию; Т/КСР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом 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 бланчного 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) проводится в форме защиты практических занятий и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита тем практических занятий**

Всего запланировано 9 практических занятий. Типовые темы практических занятий приведены в РПД.

Защита тем практических занятий проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов.

### **2.2.2. Контроль самостоятельной работы**

Согласно РПД запланировано 2 часа контроля самостоятельной работы (КСР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины.

#### **Типовые задания КСР:**

1. Рассмотреть взаимосвязь параметров ракетного двигателя и топлива.
2. Описать схемы расположения топливных баков ЖРД.
3. Рассмотреть методику расчета дроссельных характеристик РД.
4. Рассмотреть методику расчета высотных характеристик РД.

#### **Типовые задания КСР:**

1. Рассмотреть методику расчета параметров ЖРДУ с вытеснительной системой подачи компонентов.
2. Рассмотреть методику расчета параметров ЖРДУ с турбонасосной системой подачи компонентов без дожигания генераторного газа.
3. Рассмотреть методику расчета параметров ЖРДУ с турбонасосной системой подачи компонентов с дожиганием окислительного генераторного газа.
4. Рассмотреть методику расчета параметров ЖРДУ с турбонасосной системой подачи компонентов с дожиганием восстановительного генераторного газа.

## **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. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине**

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

##### **Р1. Характеристики тепловых РД**

1. Типы реактивных двигателей.
2. Типы ракетных двигателей.
3. Тяга ракетных двигателей (РД).
4. Основы теории сверхзвукового сопла.
5. Режимы работы сопла. Нерегулируемые и регулируемые сопла.
6. Выражение тяги в газодинамической форме. Коэффициенты тяги.
7. Удельный импульс и его выражения.
8. Расходный комплекс и характеристическая скорость.
9. Составляющие тяги и коэффициенты тяги.
10. Физическая картина истечения при глубоком перерасширении.
11. Оценка степени совершенства камеры и сопла.
12. Природа и порядок потерь в камере сгорания и сопле.
13. Дроссельные характеристики с нерегулируемым и регулируемым соплом.
14. Высотные характеристики с нерегулируемым и регулируемым соплом.
15. Взаимосвязь параметров ракетного двигателя и топлива.

##### **Р2. Жидкостные ракетные двигательные установки**

1. Системы подачи.
2. Газобаллонные системы подачи.
3. Вытеснительные системы подачи с ПАД и ЖАД.
4. Турбонасосная система подачи без дожигания генераторного газа по схеме ж+ж.
5. Турбонасосная система подачи с дожиганием генераторного газа по схеме г+ж.
6. Замкнутая система ЖРДУ по схеме г+г.
7. Топливные баки.

##### **Р3. Внутрикамерные процессы в ЖРДУ**

1. Общая картина и характеристики внутрикамерного процесса.
2. Обобщенные характеристики процесса в КС.
3. Струйные форсунки.
4. Центробежные форсунки.
5. Двухкомпонентные форсунки.
6. Распыливание компонентов топлива.
7. Смешение компонентов топлива.

8. Прогрев и испарение топлива.
9. Воспламенение и горения топлива.
10. Профилирование контура камеры сгорания и сопла.

#### **Р4. Тепловое состояние и защита стенок камеры сгорания и сопла**

1. Основные способы защиты стенок.
2. Конвективный теплообмен между продуктами сгорания и стенкой.
3. Конвективный теплообмен между стенкой и охладителем.
4. Лучистый теплообмен между продуктами сгорания и стенкой.
5. Общая схема передачи тепла. Условия надежного охлаждения.
6. Потери давления в охлаждающем тракте.
7. Последовательность расчета охлаждения.

#### **Р5. Турбонасосные агрегаты**

1. Насосы для подачи компонентов в ЖРД.
2. Основные параметры работы центробежного насоса.
3. Кавитация.
4. Характеристики насосов.
5. Классификация турбин ЖРД.
6. Основные параметры турбин.
7. Потери и КПД турбин.

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

1. Объяснить дроссельные характеристики РД с нерегулируемым соплом.
2. Объяснить дроссельные характеристики РД с регулируемым соплом.
3. Объяснить высотные характеристики РД с нерегулируемым соплом.
4. Объяснить высотные характеристики РД с регулируемым соплом.
5. Рассмотреть использование обобщенных характеристик внутрикамерного процесса при проектировании ЖРД.
6. Провести сравнительный анализ характеристик струйных и центробежных форсунок.
7. Провести сравнительный анализ характеристик двухкомпонентных форсунок.
8. Объяснить влияния подогрева топлива на характеристики распыла.
9. Рассмотреть способы снижения пикового давления при запуске ЖРД.
10. Рассмотреть способы обеспечения надежного охлаждения ЖРД.

#### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Разработать методику расчета охлаждения ЖРД с использования высококипящего компонента.
2. Разработать методику расчета охлаждения ЖРД с использования криогенного компонента.

3. Разработать методику расчета режимных параметров ЖРДУ при использовании вытеснительной системы подачи компонентов.

4. Разработать методику расчета режимных параметров ЖРДУ при использовании закрытой системы с дожиганием окислительного генераторного газа.

5. Разработать методику расчета режимных параметров ЖРДУ при использовании закрытой системы с дожиганием восстановительного генераторного газа.

Перечень типовых ситуационных заданий и кейсов для проверки умений и владений представлен в Приложении 1. *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 компетенций проводится по 4-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 экзаменесчитается, 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 дисциплинарных 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-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 экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

**Типовые ситуационные задания и кейсы для проверки умений и владений**

**Задание № \_\_. (анализ кейс-стади)**

Проверяемые результаты обучения:

Задание. Внимательно прочитайте текст предложенного кейса и ответьте на вопросы задания.

**Критерии оценки ситуационных заданий**

**Оценка «пять» ставится, если обучающийся осознанно излагает и оценивает суть данной ситуации, с аргументацией своей точки зрения, умеет анализировать, обобщать и предлагает верные пути решения складывающейся ситуации.**

**Оценка «четыре» ставится, если обучающийся понимает суть ситуации, логично строит свой ответ, но допускает незначительные неточности при определении путей решения.**

**Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в сущности складывающейся ситуации, но нуждается в наводящих вопросах, не умеет анализировать и не совсем верно намечает пути решения ситуации.**

**Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает суть данной ситуации, не может предложить путей ее решения, либо допускает грубые ошибки.**

**Ситуация 1.** Установить, является ли работоспособной струйная форсунка окислителя со следующими параметрами

Расход через форсунку	0,073 кг/с
Перепад давления на форсунке	7 ата
Плотность окислителя	1500 кг/м <sup>3</sup>

**Ситуация 2.** Установить, является ли работоспособной струйная форсунка горючего со следующими параметрами

Расход через форсунку	0,044 кг/с
Перепад давления на форсунке	6 ата
Плотность окислителя	800 кг/м <sup>3</sup>

**Ситуация 3.** Установить, является ли работоспособной центробежная форсунка со следующими параметрами

Плечо закрутки на входе	4,15 мм
Радиус входного канала	0,9 мм
Радиус выходной части сопла	1,66 мм
Количество тангенциальных подводов	2

**Ситуация 4.** Установить, является ли работоспособной центробежная форсунка со следующими параметрами

Плечо закрутки на входе	6 мм
Радиус входного канала	1,5 мм
Радиус выходной части сопла	2 мм
Количество тангенциальных подводов	4

**Ситуация 5.** Установить, является ли работоспособной огневая стенка камеры сгорания ЖРД

Конвективный тепловой поток	1,5 МВт/м <sup>2</sup>
Коэффициента теплообмена между ПС и огневой стенкой	300 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Температура торможения в пристеночном слое	1800 К

## **Типовые контрольные задания для оценки результатов обучения по дисциплине, формирующих дисциплинарные части компетенций**

### **Вопросы для контроля усвоенных знаний:**

*перечень вопросов для оценивания компетенции ОПК-5:*

1. Рассмотреть режимы работы сверхзвукового сопла.
2. Проанализировать выражения тяги в газодинамической форме.
3. Проанализировать выражения удельного импульса через скорость истечения и характеристическую скорость.
4. Рассмотреть степень совершенства камер сгорания и сопла.
5. Проанализировать зависимость расхода, тяги и удельного импульса от давления в камере с нерегулируемым соплом.
6. Проанализировать зависимость расхода, тяги и удельного импульса от давления в камере с регулируемым соплом.
7. Рассмотреть модель прогрева и испарения капель горючего.
8. Проанализировать способы профилирования внутреннего контура КС.
9. Провести классификацию турбин, применяемых в ЖРДУ.
10. Рассмотреть способы определения тепловых потоков в КС и сопле.

### **Задания для контроля усвоенных умений:**

*перечень заданий для оценивания компетенции ОПК-5:*

1. Провести сравнительный анализ реактивных и ракетных двигателей.
2. Показать и проанализировать зависимости коэффициентов тяги от высоты полета.
3. Провести сравнительный анализ схем расположения форсунок на смесительной головке.
4. Проанализировать способы обеспечения безкавитационного режима работы центробежного насоса.
5. Провести сравнительный анализ различных схем оребрения в рубашке охлаждения ЖРЖ.

### **Задания для контроля усвоенных владений:**

*перечень заданий для оценивания компетенции ОПК-5:*

1. Определить геометрические и режимные параметры газогенераторов наддува баков окислителя и горючего в двигателе РД-191.
2. Определить геометрические и режимные параметры окислительного газогенератора в двигателе РД-191.
3. Определить геометрические и режимные параметры камеры сгорания в двигателе РД-191.
4. Определить режимные параметры насосов окислителя и горячего в двигателе РД-191.
5. Определить режимные параметры газовой турбины в двигателе РД-191.
6. Определить геометрические и режимные параметры рубашки охлаждения в двигателе РД-191.