

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

« 03 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Тепломассообмен в двигателях летательных аппаратов
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

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

Направленность: Суперкомпьютерные технологии проектирования двигателей
летательных аппаратов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является формирование профессиональных компетенций, связанных с приобретением навыков и умений по математическому моделированию тепловых и газодинамических процессов в ракетных двигателях, формирование научно-технического мировоззрения на основе знания особенностей сложных технических систем, воспитание технической культуры.

Задачи дисциплины:

- ознакомление с современными подходами и методами в области моделирования тепловых и газодинамических процессов;
- изучение методологии расчёта тепломассообмена в ракетных двигателях;
- формирование умения расчёта процессов тепломассообмена с использованием современных компьютерных программ;
- формирование навыков построения математических моделей процессов тепломассообмена в ракетных двигателях и проверки их адекватности.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- процессы тепломассообмена в ламинарном и турбулентном пограничном слое;
- методы расчёта динамического, теплового и диффузионного пограничных слоёв;
- математическое моделирование процессов тепломассообмена в ракетных двигателях.

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-1.4	ИД-1ПК-1.4	Знает: – основные понятия теории тепломассообмена и пограничного слоя, критерии подобия для процессов переноса импульса, тепла и вещества, основные подходы к построению моделей для описания процессов тепломассообмена; – методы расчёта тепломассообмена в ракетных двигателях.	Знает теоретические основы рабочих процессов в двигателях летательных аппаратов.	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.4	ИД-2ПК-1.4	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для проведения компьютерных вычислений процессов теплообмена в ракетных двигателях.	Умеет пользоваться современными суперкомпьютерными технологиями для моделирования рабочих процессов в двигателях летательных аппаратов и их агрегатах.	Отчёт по практическом у занятию
ПК-1.4	ИД-3ПК-1.4	Владеет навыками постановки исследовательских задач, планированием и проведением вычислений, анализом и обобщением результатов моделирования процессов теплообмена в ракетных двигателях.	Владеет навыками постановки исследовательских задач, планирования и проведения вычислений, анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании двигателей летательных аппаратов.	Защита лабораторной работы
ПК-2.8	ИД-1ПК-2.8	Знает методики и этапность проведения газодинамических и тепловых расчётов процессов в ракетных двигателях.	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в двигателях летательных аппаратов.	Экзамен
ПК-2.8	ИД-2ПК-2.8	Умеет: – формулировать критерии и направления оптимизации процессов теплообмена; – формулировать конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение высокой эффективности теплообмена и надёжности узлов и элементов ракетных двигателей.	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты двигателей летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.	Отчёт по практическом у занятию
ПК-2.8	ИД-3ПК-2.8	Владеет: – перспективными методиками исследования процессов теплообмена и повышением их эффективности; – методами анализа	Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов двигателей летательных аппаратов и их элементов с использованием	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
		мероприятий, направленных на повышение эффективности теплообмена и надёжности узлов и элементов ракетных двигателей.	аналитических и численных методов исследования с применением суперкомпьютерных технологий и анализа полученных результатов для принятия технических решений.	

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:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)	16	16	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	16	16	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

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	
2-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
Основы теории тепломассообмена	12	4	14	27
<p>Введение.</p> <p>История развития ракетных двигателей. Основные элементы ракетного двигателя, теплофизические и диффузионные процессы, проходящие в них. Связь тепломассообмена с другими дисциплинами.</p> <p>Основные задачи теории тепломассообмена.</p> <p>Тема 1. Законы переноса импульса, теплоты и вещества.</p> <p>Перенос импульса, теплоты и вещества – следствие скоростной, температурной и концентрационной неравновесности термодинамической системы. Закон Ньютона о вязком трении в жидкости. Закон теплопроводности Фурье. Закон диффузии Фика.</p> <p>Коэффициенты переноса: вязкости (динамический и конвективный), теплопроводности (температуропроводности), диффузии. Единство физических процессов переноса импульса, тепла, вещества. Критерии (числа) Прандтля, Шмидта (диффузионного числа Прандтля), Льюиса-Семёнова.</p> <p>Тема 2. Виды тепломассообмена.</p> <p>Виды тепломассообмена: теплопроводность (кондукция), конвекция (свободная и вынужденная), излучение (лучистый или радиационный теплообмен).</p> <p>. Сложный теплообмен. Виды массообмена: диффузия и конвекция. Механизм переноса тепла теплопроводностью и вещества диффузией (микродвижение атомов и молекул). Механизм переноса тепла и вещества конвекцией (макродвижение). Перенос тепла излучением (возбуждение атомов и молекул, излучение квантов – электромагнитные волны). Тепломассообмен между твёрдой поверхностью и движущейся вдоль неё жидкостью (газом). Закон теплообмена Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи (теплопередачи). Коэффициент массоотдачи (массопередачи).</p> <p>Тема 3. Уравнения теплопроводности и диффузии. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Уравнения Фурье, Пуассона, Лапласа. Мощность теплового источника (стока). Примеры тепловых источников (стоков). Дифференциальное уравнение диффузии. Мощность источника (стока) вещества. Примеры источников (стоков) вещества. Начальные и граничные условия.</p> <p>Тема 4. Основы теории конвективного тепломассообмена.</p> <p>Уравнение неразрывности (сплошности). Уравнения движения невязкой жидкости (уравнение Эйлера) и вязкой жидкости (уравнение</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
<p>Навье-Стокса). Уравнение энергии. Уравнение диффузии. Начальные и граничные условия. Обезразмеривание уравнений движения, энергии и диффузии. Критерии гомохронности: гидродинамической (число Струхаля), тепловой (число Фурье), диффузионный (диффузионное число гомохронности). Критерии гидродинамического (число Рейнольдса), теплового (число Пекле) и диффузионного (диффузионное число Пекле) подобия. Связь между числами Рейнольдса и Пекле, Рейнольдса и диффузионного Пекле.</p> <p>Тема 5. Понятие о пограничном слое. Анализ обезразмеренного уравнения Навье-Стокса. Две области течения: пограничный слой (тонкий слой, прилегающий к твёрдой поверхности), где силы вязкости существенны и основной поток (внешний поток), где вязкостью можно пренебречь. Схема погранслоя на плоской пластине. Условная толщина пограничного слоя. Анализ обезразмеренных уравнений теплопроводности и диффузии. Гидродинамический (динамический), тепловой и диффузионный пограничные слои. Схема слоёв. Отношение толщин динамического и теплового, динамического и диффузионного, теплового и диффузионного погранслоёв.</p> <p>Тема 6. Уравнения пограничного слоя. Вывод системы дифференциальных уравнений пограничного слоя (уравнения Прандтля). Дифференциальные уравнения погранслоя в случае течения жидкости с теплообменом со стенкой. Дифференциальные уравнения погранслоя в случае течения жидкости с массообменом со стенкой. Оценка толщин динамического, теплового и диффузионного пограничных слоёв. Критерий теплового подобия (число) Стентона. Толщина потери энергии. Диффузионный критерий подобия (диффузионное число) Стентона. Критерии теплового (число Нуссельта) и диффузионного (диффузионное число Нуссельта) подобия. Связь между числами Стентона и Нуссельта, диффузионными числами Стентона и Нуссельта.</p> <p>Тема 7. Расчёт трения и тепломассообмена в пограничном слое на плоской пластине. Ламинарный пограничный слой на плоской пластине. Связь между трением, теплопроводностью и диффузией. Тройная аналогия. Переход ламинарного погранслоя в турбулентный (схема перехода). Ламинарный подслой. Турбулентный перенос импульса, тепла и</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
вещества. Связь турбулентного переноса с пульсациями скорости (гипотеза Буссинеска), температуры, концентраций. Дополнительная вязкость, теплопроводность и диффузия при турбулентном движении. Теория пути смешения. Связь величины пульсации с путём смешения. Коэффициенты турбулентного переноса (вязкости, теплопроводности, диффузии). Гипотеза Прандтля для турбулентного погранслоя: пропорциональность пути смешения расстоянию от стенки. Расчёт характерных толщин, коэффициентов трения и теплообмена в турбулентном погранслое.				
Определение тепловых потоков в ракетном двигателе	6	12	2	27
Тема 8. Конвективный теплообмен в камере сгорания. Эффективная температура газа в пограничном слое. Коэффициент восстановления полной температуры. Расчёт коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока. Теплообмен при вдуве газа в погранслой. Тема 9. Конвективный теплообмен в сопле. Расчёт коэффициента теплоотдачи. Радиус сопряжения камеры сгорания и сопла. Сравнение тепловых потоков в камере сгорания, критическом и выходном сечениях сопла. Тема 10. Лучистый теплообмен в камере сгорания и сопле. Уравнение Стефана-Больцмана. Постоянная Стефана-Больцмана. Эффективная (приведённая степень черноты). Степень черноты газа. Длина пути луча в газе и в запылённом пространстве. Анализ лучистого теплообмена в гомогенных и гетерогенных средах.				
ИТОГО по 2-му семестру	18	16	16	54
ИТОГО по дисциплине	18	16	16	54

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Обезразмеривание уравнений движения, энергии и диффузии
2	Вывод уравнений Прандтля
3	Расчёт распределения скорости, характерных толщин (толщина погранслоя, вытеснения, потери импульса) и коэффициента трения в ламинарном динамическом пограничном слое

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
4	Расчёт распределения скорости, характерных толщин и коэффициента трения в турбулентном погранслое
5	Расчётный анализ теплообмена при вдуве высокомолекулярного и низкомолекулярного газов в погранслои

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение коэффициента теплопередачи и теплового потока в ламинарном погранслое на плоской поверхности
2	Определение коэффициента теплопередачи и теплового потока в турбулентном погранслое на плоской поверхности
3	Определение конвективного теплового потока в камере сгорания РДТТ
4	Определение конвективного теплового потока в критическом сечении и сопле РДТТ
5	Определение лучистого теплового потока в камере сгорания РДТТ

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.

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 практическим занятиям, 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. Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2015. 596 с. 49,40 усл. печ. л.	26
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика : учебник для втузов. 4-е изд., перераб. Москва : Наука : Физматлит, 1976. 888 с.	27
2	Алемасов В. Е., Дрегаллин А. Ф., Тишин А. П. Теория ракетных двигателей : учебник для втузов. 4-е изд., доп. и перераб. Москва : Машиностроение, 1989. 464 с.	33
3	Губертов А.М., Миронов В.В., Борисов Д.М. Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твердого топлива. М. : Машиностроение, 2004. 511 с.	27
4	Общая физика. Гидродинамика и теплообмен. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2011. 166 с. 10,5 усл. печ. л.	78
5	Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. 3-е изд., испр. и доп. Москва : Наука, 1987. 491 с., 1 л. портр.	6
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 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	Гидродинамика и теплообмен. - Пермь: , Изд-во ПГТУ, 2011. - (Общая физика : учебное пособие; Ч. 4).	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3229	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	MS Windows 7 (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022)
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/
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
-------------	---	-------------------

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

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Тепломассообмен в двигателях летательных аппаратов»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов»
Направленность (профиль) образовательной программы:	Суперкомпьютерные технологии проектирования двигателей летательных аппаратов
Квалификация выпускника:	магистр
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
Форма обучения:	очная

Курс: 1

Семестр: 2

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:	4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	144 ч.

Виды промежуточного контроля:

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 одного семестра (2-го семестра учебного плана) и разбито на 2 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, 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		Итоговый
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен
Усвоенные знания					
З.1 знает основные понятия теории тепломассообмена, критерии подобия для процессов переноса импульса, тепла и вещества, основные подходы к построению моделей для описания процессов тепломассообмена.	С	ТО		КР1	ТВ
З.2 знает методики и этапность проведения газодинамических и тепловых расчётов процессов в ракетных двигателях.	С	ТО		КР2	ТВ
Освоенные умения					
У.1 умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для проведения компьютерных вычислений процессов тепломассообмена в ракетных двигателях.			ОЛР1	КР1	ПЗ
У.2 умеет проводить тепловые расчёты двигателей летательных аппаратов и их элементов с использованием численных методов исследования.			ОЛР2	КР2	ПЗ

Приобретенные владения					
В.1 владеет навыками постановки исследовательских задач, планированием и проведением вычислений, анализом и обобщением результатов моделирования процессов теплообмена в ракетных двигателях.			ОЛР3		КЗ
В.2 владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов двигателей летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением суперкомпьютерных технологий и анализа полученных результатов для принятия технических решений.			ОЛР4		КЗ

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 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 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) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1 Защита лабораторных работ

Всего запланировано 4 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 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основы теории тепломассообмена», вторая КР – по модулю 2 «Определение тепловых потоков в ракетном двигателе».

Типовые задания первой КР:

1. Законы переноса импульса, теплоты и вещества.
2. Виды тепломассообмена. Механизмы переноса тепла и вещества.
3. Единство физических процессов переноса импульса, тепла и вещества (для газов). Критерии Прандтля, Шмидта, Льюиса-Семёнова.
4. Уравнения теплопроводности и диффузии.
5. Система уравнений гидродинамики.

Типовые задания второй КР:

1. Основные зоны РДТТ с точки зрения интенсивности теплообмена в них, анализ условий теплообмена в этих зонах.
2. Расчёт конвективного теплообмена в РДТТ.
3. Расчёт радиационного теплообмена в РДТТ.
4. Материалы, применяемые в РДТТ для тепловой защиты.

5. Физико-химические процессы в теплозащитных материалах при их нагреве в условиях камеры сгорания РДТТ.

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

2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических и 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:

1. Теплообмен между стенкой и движущейся жидкостью (газом). Коэффициенты теплопередачи и массопередачи (теплоотдачи).
2. Динамический, тепловой и диффузионный пограничный слой. Условная толщина пограничного слоя.
3. Уравнения пограничного слоя.
4. Переход ламинарного погранслоя в турбулентный (схема перехода).
5. Подобие физических процессов. Критерии подобия.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Расчёт трения и теплообмена в ламинарном пограничном слое на плоской пластине.
2. Расчёт трения и теплообмена в турбулентном пограничном слое на плоской пластине.
3. Конвективный теплообмен в камере сгорания. Расчёт коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока.
4. Конвективный теплообмен в сопле. Расчёт коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока.
5. Расчёт теплообмена при вдуве газа в погранслой.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Основные зоны РДТТ с точки зрения интенсивности теплообмена в них, анализ условий теплообмена в этих зонах.
2. Сравнение тепловых потоков в камере сгорания, критическом и выходном сечениях сопла.
3. Анализ лучистого теплообмена в гомогенных и гетерогенных средах.

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-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.

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