



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

**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**
Аэрокосмический факультет

Кафедра «Ракетно-космическая техника и энергетические системы»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
д-р техн. наук, проф.

Н.В. Лобов

2017 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория тепломассообмена и пограничного слоя»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа академического бакалавриата

Направление 13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль программы бакалавриата

Газотурбинные и паротурбинные
установки и двигатели

Квалификация выпускника:

бакалавр

Выпускающая кафедра:

Ракетно-космическая техника и
энергетические системы

Форма обучения:

очная

Курс: 3

Семестр(ы): 6

Трудоемкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:

4

Часов по рабочему учебному плану:

144

Виды контроля:

Экзамен: 6

Зачет: —

Курсовой проект: —

Курсовая работа: —

Пермь, 2017 г.

Учебно-методический комплекс дисциплины «Теория тепломассообмена и пограничного слоя» разработан на основании:

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «01» октября 2015 г. номер приказа «1083» по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение»;

- компетентностной модели выпускника ОПОП по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профилю «Газотурбинные и паротурбинные установки и двигатели», утверждённой 24 июня 2013 г. (с изменениями в связи с переходом на ФГОС ВО);

- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профилю «Газотурбинные и паротурбинные установки и двигатели», утвержденного 28 апреля 2016 г.

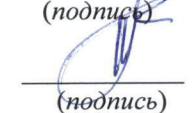
Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин «Термодинамика», «Механика жидкости и газа», «Динамика и прочность турбомашин», «Паротурбинные установки», «Энергетические машины и установки», «Газотурбинные установки», «Строительная механика энергоустановок», «Механика материалов и конструкций», «Автоматическое регулирование энергоустановок», «Теоретические основы вибродиагностики», «Газогидродинамика энергоустановок», «Системы обеспечения теплового режима газотурбинных установок», «Компрессоры газотурбинных установок», «Технология конструкционных материалов», «Детали машин и основы конструирования», «Методы оптимального проектирования», «Теория поиска и принятия решений», «Управление качеством», участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик д-р техн. наук, проф.
(ученая степень, звание)


(подпись)

В.И. Малинин
(инициалы, фамилия)

Рецензент д-р техн. наук, проф.
(ученая степень, звание)

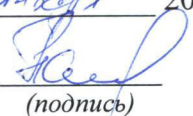

(подпись)

Р.В. Бульбович
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» «14» января 2017 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой
«Ракетно-космическая техника
и энергетические системы»,
ведущей дисциплину

д-р техн. наук, проф.
(ученая степень, звание)

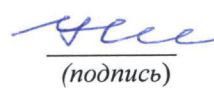

(подпись)

М.И. Соколовский
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией Аэрокосмического факультета «14» 02 2017 г., протокол № 5

Председатель учебно-методической комиссии
аэрокосмического факультета

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)

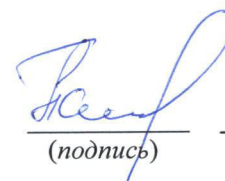

(подпись)

Н.Е. Чигодаев
(инициалы, фамилия)

Согласовано:

Заведующий выпускающей
кафедрой «Ракетно-космическая техника и энергетические системы»

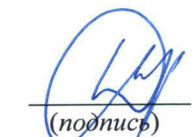
д-р техн. наук, проф.
(ученая степень, звание)


(подпись)

М.И. Соколовский
(инициалы, фамилия)

Начальник управления
образовательных программ

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)


(подпись)

Д.С. Репецкий
(инициалы, фамилия)

1 Общие положения

1.1 Цели дисциплины

Целью дисциплины является приобретение навыков и умений по математическому моделированию тепловых и газодинамических процессов в объектах энергетического машиностроения, формирование научно-технического мировоззрения, воспитание технической культуры.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие профессиональные компетенции:

- способность демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках (ОПК-3);
- способность принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения (ПК-3).

1.2 Задачи дисциплины:

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

1.3 Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

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

1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория тепломассообмена и пограничного слоя» относится к вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)» рабочего учебного плана и является обязательной дисциплиной при освоении ОПОП по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профилю «Газотурбинные и паротурбинные установки и двигатели».

После изучения дисциплины обучающийся должен освоить части указанных в пункте 1.1 компетенций и демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- 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 энергетических установках.

Уметь:

- формулировать критерии и направления оптимизации процессов тепломассообмена;

– формулировать конструкторские мероприятия, направленные на обеспечение высокой эффективности тепломассообмена и надёжности узлов и элементов энергетических установок.

Владеть:

– перспективными методиками исследования процессов тепломассообмена и повышением их эффективности;

– методами анализа мероприятий, направленных на повышение эффективности тепломассообмена и надёжности узлов и элементов энергетических установок.

В таблице 1.1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в пункте 1.1.

Таблица 1.1 – Дисциплины, направленные на формирование компетенций

Код	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Общепрофессиональные компетенции			
ОПК-3	Способность демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках	«Термодинамика», «Механика жидкости и газа».	«Газотурбинные установки», «Системы обеспечения теплового режима газотурбинных установок», «Энергетические машины и установки», «Газогидродинамика энергоустановок», «Компрессоры газотурбинных установок», «Автоматическое регулирование энергоустановок», «Динамика и прочность турбомашин».
Профессиональные компетенции			
ПК-3	Способность принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения	«Механика материалов и конструкций», «Технология конструкционных материалов», «Методы оптимального проектирования», «Детали машин и основы конструирования», «Динамика и прочность турбомашин».	«Управление качеством», «Теория поиска и принятия решений», «Автоматическое регулирование энергоустановок», «Строительная механика энергоустановок».

2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ОПК-3 и ПК-3.

2.1 Дисциплинарная карта компетенции ОПК-3

Код	Формулировка компетенции
ОПК-3	Способность демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках.

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
ОПК-3.Б1.В.02	Способность демонстрировать знание теоретических основ тепломассообмена в энергетических машинах, аппаратах и установках.

Требования к компонентному составу части компетенции ОПК-3

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
Знает: – основные понятия, критерии подобия и уравнения теории тепломассообмена и пограничного слоя.	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Контрольные вопросы для текущего и промежуточного контроля. Экзамен.
Умеет: – формулировать направления оптимизации процессов тепломассообмена.	Лабораторные работы. Самостоятельная работа.	Типовые задания к практическим занятиям и лабораторным работам. Экзамен.
Владеет: – перспективными методиками исследования процессов тепломассообмена и повышением их эффективности.	Лабораторные работы. Самостоятельная работа.	Отчет выполнения лабораторных и самостоятельных работ.

2.2 Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

Код	Формулировка компетенции
ПК-3	Способность принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения.

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
ПК-3.Б1.В.02	Способность принимать и обосновывать конкретные технические решения, связанные с процессами тепломассообмена, при создании объектов энергетического машиностроения.

Требования к компонентному составу части компетенции ПК-10

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
Знает: – методы расчёта тепломассообмена в энергетических установках.	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Контрольные вопросы для текущего и промежуточного контроля. Экзамен.
Умеет: – обосновать технические решения, направленные на обеспечение высокой эффективности тепломассообмена в энергетических установках.	Практические занятия и лабораторные работы. Самостоятельная работа студентов по решению практических задач.	Типовые задания к практическим занятиям и лабораторным работам. Экзамен.
Владеет: – методами анализа технических решений, направленных на повышение эффективности тепломассообмена узлов и элементов энергетических установок.	Лабораторные работы. Самостоятельная работа.	Отчеты по выполнению лабораторных и самостоятельных работ.

3 Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 4 ЗЕ. Количество часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Объём и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоемкость, час.
1	2	3
1	Аудиторная (контактная) работа	45
	– лекции (Л)	14
	– практические занятия (ПЗ)	18
	– лабораторные работы (ЛР)	9
	Контроль самостоятельной работы (КСР)	4
2	Самостоятельная работа	63
	– изучение теоретического материала	35
	– подготовка к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, лабораторным)	28
3	Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине	Экзамен 36
4	Трудоёмкость дисциплины, всего: в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ)	144 4

4 Содержание учебной дисциплины

4.1 Модульный тематический план

Таблица 4.1 – Тематический план по модулям учебной дисциплины

Номер учеб- ного модуля	Номер раздела дисци- плины	Номер темы дисцип- лины	Количество часов и виды занятий (очная форма обучения)							Трудо- ёмкость час./ЗЕ
			аудиторная работа					Итого- вый конт- роль	Самостоя- тельная работа	
			всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Введение		1	1						1,0/0,028
1	1	1	1,5	1			0,5		2	3,5
		2	2,5	2			0,5		4	6,5
		3	4,5	2	2		0,5		8	12,5
		4	8,5	2	6		0,5		14	22,5
	Итого по модулю:		17	7	8		2		28	45/1,25
2	2	5	1,5	1			0,5		4	5,5
		6	3,5	1	2		0,5		8	11,5
		7	8,5	1	4	3	0,5		9	17,5
		8	13,5	3	4	6	0,5		14	27,5
	Итого по модулю:		27	6	10	9	2		35	62/1,722
Промежуточная аттестация								36		36/1
Всего:			45	14	18	9	4	36	63	144/4

4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Введение. Л – 1 ч.

Основные понятия, термины и определения. Перенос в среде импульса, тепла и вещества. Связь теории тепломассообмена с другими дисциплинами. Основные задачи теории тепломассообмена. Состав дисциплины. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.

Модуль 1. Основы теории тепломассообмена

Раздел 1. Основы теории тепломассообмена

Л – 7 ч; ПЗ – 8 ч; СРС – 28 ч.

Тема 1. Законы переноса импульса, теплоты и вещества

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. 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.

Тема 2. Виды тепломассообмена

Виды тепломассообмена: теплопроводность (кондукция), конвекция (свободная и вынужденная), излучение (лучистый или радиационный теплообмен). 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).

Тема 3. Уравнения теплопроводности и диффузии

Векторные операторы и действия с ними. Градиент, дивергенция, ротор, оператор Лапласа. 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. Краевые условия. Начальные и граничные условия. Граничные условия I, II, III, IV рода.

Тема 4. Основы теории конвективного тепломассообмена

Скалярные, векторные и тензорные величины и действия с ними. Субстанциональная (полная), локальная и конвективная производные.

Уравнение неразрывности (сплошности). Уравнения движения невязкой жидкости (уравнение Эйлера) и вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса). Тензор напряжений. Тензор вязких напряжений. Уравнение энергии. Уравнение диффузии. Начальные и граничные условия.

Обезразмеривание уравнений движения, энергии и диффузии. Критерии гомохронности: гидродинамической (число Струхала), 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.

Виды движения жидкостей. Установившееся (стационарное) и неуставившееся (нестационарное) движение жидкости. Условие стационарности движения жидкости. Ламинарное и турбулентное движение жидкости. Условие перехода движения жидкости из ламинарного в турбулентное. Критическое число Рейнольдса. Потенциальное и вихревое движение жидкости. Условие потенциальности движения жидкости. Уравнение Бернулли. Интеграл Бернулли.

Модуль 2. Пограничный слой

Раздел 2. Пограничный слой

Л – 6 ч; ЛР – 9 ч; ПЗ – 10 ч; СРС – 35ч.

Тема 5. Понятие о пограничном слое

Движение потока вязкой жидкости вдоль стенки при больших числах Рейнольдса. 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. Основное допущение теории пограничного слоя – «прилипание» жидкости к твёрдой поверхности. Условие применимости допущения о «прилипании» жидкости к поверхности (критерий Кнудсена). 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.

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. Интегральные уравнения пограничного слоя. Интегральное уравнение импульсов (уравнение Кармана). Коэффициент сопротивления трения. Толщина вытеснения и толщина потери импульса.

Интегральное уравнение энергии. Критерий теплового подобия (число Стентона). Толщина потери энергии. Интегральное уравнение диффузии. Диффузионный критерий подобия (диффузионное число) Стентона. Толщина потери вещества. Критерии теплового (число Нуссельта) и диффузионного (диффузионное число Нуссельта) подобия. Связь между числами Стентона и Нуссельта, диффузионными числами Стентона и Нуссельта.

Тема 7. Расчёт трения и тепломассообмена в ламинарном пограничном слое на плоской пластине

Пограничный слой на плоской пластине. Расчёт распределения скорости, характерных толщин (толщина погранслоя, вытеснения, потери импульса) и коэффициента трения в динамическом погранслое методом Польшаузена. Расчёт распределения температуры, характерных толщин (толщина погранслоя, потери энергии) и коэффициента теплоотдачи (граничные условия первого рода) в тепловом погранслое. Расчёт распределения концентраций, характерных толщин (толщина погранслоя, потери вещества) и коэффициента массоотдачи (граничные условия первого рода) в диффузионном погранслое. Связь между трением, теплопроводностью и диффузией. Тройная аналогия.

Тема 8. Расчёт трения и тепломассообмена в турбулентном пограничном слое на плоской пластине

Переход ламинарного погранслоя в турбулентный (схема перехода). Ламинарный подслой. Мгновенная (истинная) и средняя (осреднённая) скорости турбулентного движения жидкости. Пульсационная составляющая скорости. Осреднённое и пульсационное движение жидкости. Средние и пульсационные значения давления, плотности, температуры и концентраций. Среднеквадратичные и относительные среднеквадратичные значения пульсаций. Степень турбулентности потока (интенсивность) турбулентности.

Турбулентный перенос импульса, тепла и вещества. Связь турбулентного переноса с пульсациями скорости (гипотеза Буссинеска), температуры, концентраций. Дополнительная вязкость, теплопроводность и диффузия при турбулентном движении. Теория пути смешения (гипотеза пути перемешивания Прандтля). Путь смешения – аналог длины пробега молекул в газе. Связь величины пульсации с путём смешения. Коэффициенты турбулентного переноса (вязкости, теплопроводности, диффузии). Гипотеза Прандтля для турбулентного погранслоя: пропорциональность пути смешения расстоянию от стенки. Расчёт распределения скорости, температуры, концентраций, характерных толщин, коэффициентов трения и тепломассопередачи в турбулентном погранслое.

4.3 Перечень тем практических занятий

Таблица 4.2 – Темы практических занятий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия
1	3	Векторные операторы и действия с ними – 2 час.
2	4	Скалярные, векторные и тензорные величины и действия с ними – 2 час.
3	4	Субстанциональная (полная), локальная и конвективная производные – 1 час.
4	4	Обезразмеривание уравнений движения, энергии и диффузии – 3 час.
5	6	Вывод интегрального уравнения импульсов – 2 час.
6	7	Расчёт распределения скорости, характерных толщин (толщина погранслоя, вытеснения, потери импульса) и коэффициента трения в ламинарном динамическом пограничном слое – 2 час.
7	7	Расчёт распределения температуры, характерных толщин (толщина погранслоя, потери энергии) и коэффициента теплоотдачи (граничные условия первого рода) в ламинарном тепловом пограничном слое (метод Польгаузена) – 2 час.
8	8	Расчёт распределения скорости, характерных толщин и коэффициента трения в турбулентном погранслое – 2 час.
9	8	Расчёт распределения температуры, характерных толщин и коэффициента теплопередачи в турбулентном погранслое – 2 час.

4.4 Перечень тем лабораторных работ

Таблица 4.3 – Темы лабораторных работ

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы лабораторной работы
1	7	Определение коэффициентов трения и теплопередачи в ламинарном погранслое на поверхности лопатки компрессора – 3 час.
2	8	Определение коэффициентов трения и теплопередачи в ламинарном погранслое на поверхности лопатки турбины – 3 час.
3	8	Определение коэффициентов трения и теплопередачи в турбулентном погранслое на поверхности лопатки турбины – 3 час.

5. 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. Изучение дисциплины осуществляется в течение двух семестров, график изучения дисциплины приводится п.7.
5. 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.

5.1 Виды самостоятельной работы студентов

Таблица 5.1 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоемкость, час.
1	Подготовка к лекции	2
2	Подготовка к лекции	4
3	Подготовка к лекции Подготовка к практическому занятию Изучение теоретического материала	4 2 2
4	Изучение теоретического материала Подготовка к лекции Подготовка к практическому занятию	4 4 6
5	Изучение теоретического материала Подготовка к лекции	2 2
6	Изучение теоретического материала Подготовка к лекции Подготовка к практическому занятию	4 2 2
7	Изучение теоретического материала Подготовка к лекции Подготовка к практическому занятию Подготовка к лабораторной работе	2 2 4 1
8	Изучение теоретического материала Подготовка к лекции Подготовка к практическому занятию Подготовка к лабораторной работе	2 6 4 2
	Итого: час./ЗЕ	63/1,75

5.1.1 Изучение теоретического материала

Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно:

Тема 3. Дифференциальное уравнение диффузии. Мощность источника (стока) вещества. Краевые условия. Начальные и граничные условия. Граничные условия I, II, III, IV рода.

Тема 4. Уравнение диффузии. Начальные и граничные условия.

Потенциальное и вихревое движение жидкости. Условие потенциальности движения жидкости. Уравнение Бернулли. Интеграл Бернулли.

Тема 5. Анализ обезразмеренного уравнения диффузии. Схема диффузионного пограничного слоя на плоской пластине. Условная толщина диффузионного погранслоя.

Тема 6. Дифференциальное уравнение погранслоя в случае течения жидкости с массообменом со стенкой. Интегральное уравнение диффузии. Диффузионный критерий подобия (диффузионное число) Стентона. Толщина потери вещества.

Тема 7. Расчёт распределения концентраций, характерных толщин (толщина погранслоя, потери вещества) и коэффициента массоотдачи (граничные условия первого рода) в ламинарном диффузионном погранслое.

Тема 8. Расчёт распределения концентраций, характерных толщин и массопередачи в турбулентном диффузионном погранслое.

5.1.2 Курсовой проект (курсовая работа)

Не предусмотрен.

5.1.3 Реферат

Не предусмотрен.

5.1.4 Расчетно-графические работы

Не предусмотрены.

5.1.5 Индивидуальное задание

Не предусмотрено.

5.2 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. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение практических и лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором учащиеся 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 учащихся на достижение целей занятия.

6 Фонд оценочных средств дисциплины

6.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий контроль освоения дисциплинарных компетенций проводится в следующих формах:

- контрольная работа и опрос для анализа усвоения материала предыдущей лекции;
- оценка работы студента на лекционных и практических занятиях в рамках рейтинговой системы.

6.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Промежуточный контроль освоения дисциплинарных компетенций проводится по окончании модулей дисциплины в следующих формах:

- контрольные работы (модуль 1, 2);
- защита лабораторных работ (модуль 2).

6.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Зачёт

Не предусмотрен.

2) Экзамен

Условием допуска к экзамену является выполнение и сдача всех планируемых лабораторных работ.

Экзамен по дисциплине проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание. Экзаменационная оценка выставляется с учётом результатов рубежной аттестации и сдачи лабораторных работ.

Оценка «отлично» ставится при правильном решении практического задания, подробных ответах на теоретические вопросы и правильных ответах на два-три дополнительных вопроса.

Оценка «хорошо» ставится при правильном решении практического задания и ответов с замечаниями на теоретические вопросы.

Оценка «удовлетворительно» ставится при правильном решении практического задания и правильном ответе на один из теоретических вопросов. В остальных случаях ставится оценка «неудовлетворительно».

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания к практическим занятиям и лабораторным работам, контрольные работы, критерии оценивания и контрольные задания к экзамену, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины, входят в состав РПД в виде приложения.

6.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Таблица 6.1 – Виды контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля				
	ТК	ПК	ПЗ	ЛР	Экзамен
1	2	3	4	5	6
Усвоенные знания					
Знает: – основные понятия, критерии подобия и уравнения теории тепломассообмена и пограничного слоя;	+	+	+		+
– методы расчёта тепломассообмена в энергетических установках.	+	+	+	+	+
Освоенные умения					
Умеет: – формулировать направления оптимизации процессов тепломассообмена;			+	+	+
– обосновать технические решения, направленные на обеспечение высокой эффективности тепломассообмена в энергетических установках.			+	+	+
Приобретенные владения					
Владеет: – перспективными методиками исследования процессов тепломассообмена и повышением их эффективности.			+	+	+
– методами анализа технических решений, направленных на повышение эффективности тепломассообмена узлов и элементов энергетических установок.			+	+	+

Примечание:

ТК – текущий контроль в форме контрольных работ (оценка знаний);

ПК – промежуточный контроль в форме контрольных работ (оценка знаний);

ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка знаний, умений и владений).

ПЗ – выполнение практических занятий с подготовкой отчёта (оценка знаний, умений и владений).

7 График учебного процесса по дисциплине

Таблица 7.1 – График учебного процесса по дисциплине

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям																				Итого, ч
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41			
Раздел:	Р1						Р2														
Лекции	2	2	1		2	1	2		1		2		1							14	
Лаборат. занятия														2	2	2	2	1		9	
Практ. занятия	2		2	2	2		2	2	2	2		2								18	
КСР			1			1			1				1							4	
Изучение теор. мат.			2	2	2		2	2		2	2	2								16	
Подготовка к аудиторным занятиям	4	4	4	2	4	4	4	2	4	4	2	2	4		1	1	1			47	
Модуль:	М1						М2														108
Контрольные работы			+			+			+				+			+					
Дисциплинарный контроль																				Экз. 36	

8 Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

8.1. Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

Б1.В.02 Теория тепломассообмена и пограничного слоя (индекс и полное название дисциплины)	Блок 1. Дисциплины (модули) (блок) <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> ☐ базовая часть блока ☒ вариативная часть блока </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> ☒ обязательная ☐ по выбору студента </td> </tr> </table>	☐ базовая часть блока ☒ вариативная часть блока	☒ обязательная ☐ по выбору студента				
☐ базовая часть блока ☒ вариативная часть блока	☒ обязательная ☐ по выбору студента						
13.03.03 (код направления/ специальности)	«Энергетическое машиностроение», профиль «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели» (полное название направления подготовки / специальности)						
ЭМ/ ГПУД (аббревиатура направления/ специальности)	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> Уровень подготовки </td> <td style="width: 5%;"> ☐ ☒ ☐ </td> <td style="width: 45%;"> специалист бакалавр магистр </td> </tr> <tr> <td> Форма обучения </td> <td> ☒ ☐ ☐ </td> <td> очная заочная очно-заочная </td> </tr> </table>	Уровень подготовки	☐ ☒ ☐	специалист бакалавр магистр	Форма обучения	☒ ☐ ☐	очная заочная очно-заочная
Уровень подготовки	☐ ☒ ☐	специалист бакалавр магистр					
Форма обучения	☒ ☐ ☐	очная заочная очно-заочная					
2016 год утверждения учебного плана ООП	Семестр(ы) 6	Количество групп 1 Количество студентов 20					
Малинин Владимир Игнатьевич (фамилия, инициалы преподавателя)	профессор (должность)						
Аэрокосмический (факультет)							
РКТЭС (кафедра)	2-39-12-33 (контактная информация)						

Карта книго-
обеспеченности
в библиотеку сдана

**8.2. Перечень основной и дополнительной учебной литературы,
необходимой для освоения дисциплины**

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1	2	3
1 Основная литература		
1	Кудинов В.А., Карташов Э.М., Стефанюк Е.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для бакалавров. – М.: Юрайт, 2016. – 442 с.	13
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебные и научные издания		
1	Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: учебник для втузов. М.: Наука, 1976. – 888 с.	26
2	Бендерский Б.Я. Техническая термодинамика и теплопередача. Курс лекций с краткими биографиями учёных: учебно-методическое пособие. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 264 с.	5
3	Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике: Научное издание. – М.: Наука, 1987. – 491 с.	6
4	Колесниченко В.И., Бурдин В.В. Общая физика. Ч.IV. Гидродинамика и теплообмен: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. – 167 с.	80
5	Волчков В.П., Лебедев В.П. Тепломассообмен в пристенных течениях: учебник для бакалавров. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 242 с.	7
2.2 Периодические издания		
	Не предусмотрены	
2.3 Нормативно-технические издания		
	Не предусмотрены	
2.4 Официальные издания		
	Не предусмотрены	
2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины		
1	Электронная библиотека Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс: полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014. – Режим доступа: http://elib.pstu.ru/ . – Загл. с экрана.	

2	Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных: электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Издава «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: http://e.lanbook.com , по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.	
---	---	--

Основные данные об обеспеченности на

17.01.2017

(дата одобрения рабочей программы на заседании кафедры)

основная литература ☒ обеспечена ☐ не обеспечена

дополнительная литература ☒ обеспечена ☐ не обеспечена

Зав. отделом комплектования научной библиотеки _____ Н.В. Тюрикова

Данные об обеспеченности на

(дата контроля литературы)

основная литература ☐ обеспечена ☐ не обеспечена

дополнительная литература ☐ обеспечена ☐ не обеспечена

Зав. отделом комплектования научной библиотеки _____ Н.В. Тюрикова

8.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.3.1 Перечень программного обеспечения, в том числе компьютерные обучающие и контролирующие программы

Таблица 8.1 – Программы, используемые для обучения и контроля

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Рег. номер	Назначение
1	Лабораторные работы	Microsoft Excel		Построение графиков процессов теплообмена
2	Лабораторные работы	Mathcad		Расчёт параметров теплообмена
3	Лабораторные работы	АСТРА-4		Расчёт термодинамических параметров

8.4 Аудио- и видео-пособия

Таблица 8.2 – Используемые аудио- и видео-пособия

Вид аудио-видео пособия				Наименование учебного пособия
теле-фильм	кино-фильм	слайды	аудио-пособие	
1	2	3	4	5
		+		

9 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

9.1 Специализированные лаборатории и классы

Таблица 9.1 – Специализированные лаборатории и классы

№ п/п	Помещения			Площадь, м ²	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1	Мультимедийная аудитория	РКТЭС	304 к. Д АКФ	72	42
2	Компьютерный класс	РКТЭС	314 к. Д АКФ	72	12

9.2. Основное учебное оборудование

Таблица 9.2 – Учебное оборудование

№ п/п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма владения, пользования (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	Проектор	1	Оперативное управление	304 к. Д АКФ
2	Компьютеры	12	Оперативное управление	314 к.Д АКФ

Лист регистрации изменений

№ п/п	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		
5		
6		