

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 » апреля 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Теплопередача  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 216 (6)  
(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

Приобретение комплекса знаний о теоретических основах преобразования энергии, законах термодинамики, формирование умений и навыков термодинамического исследования рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Основные физические положения, законы термодинамики, описывающие рабочий процесс в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива, основные термодинамические свойства и параметры состояния идеальных газов, термодинамические процессы и циклы, принцип действия и устройства тепловых двигателей и других теплотехнических устройств.

### 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-1	ИД-1ОПК-1	Знает теорию, основные законы и методы построения физических и математических моделей для исследования тепловых процессов; основные теплофизические свойства материалов; принцип действия и устройства теплообменных аппаратов.	Знает теорию, основные законы и методы в области естественнонаучных и инженерных дисциплин.	Зачет
ОПК-1	ИД-2ОПК-1	Умеет применять естественнонаучные и инженерные знания, аналитические методы и методы математического анализа и моделирования для решения различных теплотехнических задач в профессиональной деятельности, а также при проектировании агрегатов двигателей.	Умеет применять методы математического анализа и моделирования для решения инженерных задач профессиональной деятельности.	Индивидуальное задание

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-1	ИД-3ОПК-1	Владеет навыками расчета и анализа тепловых процессов, теплообменных аппаратов и других теплотехнических устройств, применяющихся в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива; навыками проведения теплотехнических измерений, обработки и анализа результатов.	Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности.	Индивидуальное задание
ОПК-5	ИД-1ОПК-5	Знает способы решения задач, относящихся к профессиональной деятельности, анализу теплового состояния разрабатываемых, исследуемых и проектируемых объектов и элементов, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания.	Знает методы разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов профессиональной деятельности.	Экзамен
ОПК-5	ИД-2ОПК-5	Умеет рассчитывать и анализировать стационарные и нестационарные тепловые процессы, теплообменные аппараты, применяющиеся в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива; проводить теплотехнические измерения, обрабатывать результаты измерений с применением компьютерной техники	Умеет разрабатывать и использовать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов для решения инженерных задач.	Защита лабораторной работы
ОПК-5	ИД-3ОПК-5	Владеет навыками решения задач, относящихся к профессиональной	Владеет навыками решения профессиональных задач в области авиационной и	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
		деятельности, применяя аналитические методы, методы моделирования, теплотехнические расчеты, методы математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания.	ракетно-космической технике современными методами.	

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	6
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	81	45	36
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	36	18	18
- лабораторные работы (ЛР)	41	25	16
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	2	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	99	63	36
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	216	108	108

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
5-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основные понятия и определения.	2	0	0	6
Теория теплопередачи как специальная теплотехническая дисциплина, этапы исторического развития. Значение дисциплины для последующего изучения специальных курсов и для практической деятельности. Способы распространения теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение, их сравнительный анализ. Теплоотдача и теплопередача. Интенсификация процессов теплообмена. Тепловой поток, плотность теплового потока. Температурное поле, температурный градиент.				
Основные законы и уравнения теории теплопроводности.	3	4	0	8
Теплопроводность, как механизм передачи теплоты в твердом теле. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности. Условия однозначности: геометрические, теплофизические, краевые. Тепловые граничные условия.				
Решение задач стационарной теплопроводности.	3	4	0	18
Теплопроводность плоской и цилиндрической стенки при граничных условиях первого и третьего рода. Термическое сопротивление контакта, методика оценки контактных сопротивлений. Теплопроводность при наличии внутренних тепловых источников.				
Решение задач нестационарной теплопроводности.	3	4	0	8
Теплопроводность при нестационарном режиме. Безразмерная формулировка краевой задачи теплопроводности. Критерии Био и Фурье, их физический смысл. Расчет времени нагрева и охлаждения тел. Метод регулярного теплового режима.				
Теплопередача через стенки.	4	7	0	12
Определение явления теплопередачи. Коэффициент теплопередачи. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки при стационарном режиме. Тепловая изоляция. Критический диаметр тепловой изоляции. Теплопередача через ребристые стенки. Коэффициент эффективности ребер. Теплопередача через стенки при нестационарном режиме.				
Численные методы решения задач.	3	6	0	11
Основы численных методов расчета температурных полей (метод конечных разностей).				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Явная и неявная схемы аппроксимации. Устойчивость и сходимости численного решения. Ошибки дискретизации разностных схем. Прямые и итерационные методы решения сеточных уравнений. Применение метода сеток для стационарных и нестационарных задач теплопроводности и теплопередачи. Аппроксимация граничных условий. Принципы построения алгоритмов расчета.				
ИТОГО по 5-му семестру	18	25	0	63
6-й семестр				
Теплообмен излучением.	4	4	0	9
Физическая сущность лучистого теплообмена, виды потоков излучения и радиационные характеристики тел. Основные законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа). Лучистый теплообмен между телами, разделенными прозрачной средой. Лучистый теплообмен при наличии экрана. Защита от теплового излучения. Сложный теплообмен. Моделирование сложного теплообмена граничными условиями третьего рода.				
Конвективный теплообмен.	4	0	0	6
Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Свободная и вынужденная конвекция. Ламинарный и турбулентный режим течения. Математическая постановка и пути решения краевой задачи конвективного теплообмена. Дифференциальные уравнения переноса тепловой энергии, сплошности, теплоотдачи в пограничном слое, движения (Навье-Стокса).				
Теплообменные аппараты.	4	4	0	7
Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Конструктивные особенности теплообменников рекуперативного, регенеративного и смешительного типов. Основные принципы теплового расчета теплообменников. Прямой и проверочный расчеты рекуперативного теплообменника. Определение среднего температурного перепада и коэффициента теплопередачи, основные расчетные соотношения, определение температуры теплоносителя на выходе из теплообменника, расчет поверхности теплообмена.				
Основы массообмена.	2	0	0	2
Основы массообмена. Закон Фика. Формулы для потоков массы. Коэффициенты массопереноса. Тепломассообменные устройства.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Применение теории подобия для решения задач конвективного теплообмена.	4	8	0	12
Основы теории подобия. Определяемый и определяющие критерии подобия. Виды уравнений подобия конвективного теплообмена. Определяющая температура и определяющий размер. Методы осреднения температуры теплоносителей. Теоремы теории подобия, константы, индикаторы, числа подобия, их свойства, определяющие и определяемые числа подобия. Приложение теории подобия - теория физического эксперимента, моделирование, математический эксперимент. Критериальные уравнения теплоотдачи при свободном и вынужденном движении среды. Отдельные задачи конвективного теплообмена в однофазной среде. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах и каналах. Теплоотдача при свободном движении теплоносителя. Внешнее обтекание тел простой формы. Конвективный теплообмен в замкнутом объеме.				
ИТОГО по 6-му семестру	18	16	0	36
ИТОГО по дисциплине	36	41	0	99

#### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение коэффициента теплопроводности твердого тела методом трубы
2	Исследование теплопроводности тел простой формы при нестационарном режиме
3	Исследование теплоотдачи при свободном движении воздуха
4	Исследование теплового излучения твердого тела
5	Расчет теплообменных аппаратов

## 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.

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.

### 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	Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебное пособие для вузов. 4-е изд., стер. Москва : Аз-book, 2008. 469 с.	286
2	Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебное пособие для вузов. 4-е изд., стер. Москва : Аз-book, 2009. 469 с.	171
3	Теплотехника : учебник для вузов / Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М., Нечаев С.Г. 5-е изд., стер. М. : Высш. шк., 2005. 671 с.	4
4	Теплотехника : учебник для вузов / Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М., Нечаев С.Г. 5-е изд., стер. М. : Высш. шк., 2006. 671 с.	3



5	Теплотехника : учебник для вузов / Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М., Нечаев С.Г. 7-е изд., испр. М. : Высш. шк., 2009. 671 с.	19
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Мухачев Г. А., Щукин В. К. Термодинамика и теплопередача : учебник для вузов. 3-е изд., перераб. Москва : Высш. шк., 1991. 480 с.	247
<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)
Дополнительная литература	Литвин А. М. Техническая термодинамика : учебник / А. М. Литвин. - Москва Ленинград: Госэнергоиздат, 1963.	<a href="http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib7044">http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib7044</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Перегудов В. В. Теплотехника и теплотехническое оборудование : учебник для техникумов / В. В. Перегудов. - Москва: Стройиздат, 1990.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2724">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2724</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Теплотехника (курс общей теплотехники) : учебник для вузов / А. А. Щукин [и др.]. - Москва: Металлургия, 1973.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7043">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7043</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Основная литература	Дыблин Б. С. Основы технической термодинамики и теплотехники : учебное пособие / Б. С. Дыблин. - Пермь: Изд-во БФ ПНИПУ, 2013.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3549">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3549</a>	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 XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022 )
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ABINS.NET каф.СПМиТМ

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

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
Лабораторная работа	Лабораторное оборудование "Теплотехника"	11
Лекция	Проектор, ноутбук	1

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

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

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«ТЕПЛОПЕРЕДАЧА»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление:</b>	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	24.05.02.01 Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок 24.05.02.04 Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Специалист»
<b>Выпускающие кафедры:</b>	«Авиационные двигатели» (АД) «Ракетно-космическая техника и Энергетические системы» (РКТЭС)
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс:</b> 3	<b>Семестр:</b> 5, 6
<b>Трудоёмкость:</b>	
Кредитов по рабочему учебному плану:	6 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	216 ч.
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	
зачёт: 5 семестр	экзамен: 6 семестр

Пермь 2023

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Теплопередача» является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины (РПД). 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, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (5-го и 6-го семестров базового учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине «Теплопередача» (табл.1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и итогового контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, зачета (5 семестр) и экзамена (6 семестр). 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	
	ОП	КР	ОЛР	Т/КР	Зачет	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>З.1</b> знать: теорию, основные законы и методы в области естественнонаучных и общетехнических дисциплин.	ОП	КР		Т/КР	ТВ	ТВ
<b>З.2</b> знать: методы разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов профессиональной деятельности.	ОП	КР		Т/КР	ТВ	ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> уметь: применять методы математического анализа и моделирования для решения инженерных задач профессиональной деятельности.			ОЛР			ТВ
<b>У.2</b> уметь: разрабатывать и использовать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов для решения инженерных задач.			ОЛР			ТВ
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности.			ОЛР			
<b>В.2</b> владеть: навыками решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники современными методами.			ОЛР			

*Примечание:*

*ОП – опрос, для анализа усвоения материала предыдущей лекции; КР – контрольная работа по теме; ОЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой и защитой отчёта (оценка умений и владений); Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета (5 семестр) и экзамена (6 семестр), 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, выполнения расчётных (практических) заданий и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 5 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД. Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Выполнение расчётных (практических) заданий**

Расчётных (практических) заданий не запланировано.

### **2.2.3. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 4 рубежные контрольные работы (Т/КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины.

#### **Типовые задания контрольных работ:**

- контрольная работа 1: основные понятия и определения, закон Фурье и дифференциальное уравнение теплопроводности;
- контрольная работа 2: теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки;
- контрольная работа 3: уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Определение коэффициента теплоотдачи с использованием уравнений подобия.
- контрольная работа 4: прямой и проверочный расчеты рекуперативного теплообменного аппарата.

## **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 проводится в форме зачета (5 семестр) и экзамена (6 семестр). Зачет по дисциплине проводится устно или письменно по билетам. Билет содержит один теоретический вопрос. Оценка выставляется с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

Экзамен по дисциплине проводится устно или письменно по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса для проверки усвоенных знаний и освоенных умений.

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 зачета по дисциплине

#### Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Механизмы передачи тепла: теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообмен излучением.
2. Тепловой поток, плотность теплового потока, температурное поле, изотермическая поверхность и ее свойства, градиент температуры.
3. Теплопроводность. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности и его физический смысл.
4. Теплопроводность при стационарном режиме: однослойная и многослойная плоские стенки.
5. Явление теплопередачи. Теплопередача через цилиндрическую стенку.

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

#### Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Вид уравнения для частных случаев теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.
2. Понятие о конвективном теплообмене. Явление теплоотдачи. Закон Ньютона-Рихмана, коэффициент теплоотдачи и его физический смысл.
3. Уравнения подобия. Общий вид уравнений подобия и определение постоянных коэффициентов. Определяющие температура и размер.
4. Законы теплового излучения: Планка, Вина, Стефана-Больцмана.
5. Теплообменные аппараты. Классификация. Рекуперативные теплообменные аппараты. Схемы движения теплоносителей. Уравнения для расчета теплообменных аппаратов.

#### Типовые вопросы для контроля освоенных умений:

1. Температуры на поверхностях плоской стенки равны  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Толщина стенки 30 мм, площадь 6 кв.м, теплопроводность 20 Вт/(мК). Найти тепловой поток через стенку и термическое сопротивление стенки.
2. Температуры на поверхностях цилиндрической стенки (трубы) равны  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Толщина стенки 30 мм, теплопроводность 20 Вт/(мК). Найти погонный тепловой поток через стенку и термическое сопротивление стенки.
3. Через стенку трубы внутренним диаметром 50 мм, наружным 70 мм, теплопроводностью 10 Вт/(мК) передается тепловой поток от теплоносителя, движущегося внутри трубы (температура  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи  $150\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ) к теплоносителю снаружи (температура  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи  $50\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ). Найти удельный тепловой поток через стенку.
4. Определить средний коэффициент теплоотдачи и тепловой поток при течении воды в трубе внутренним диаметров 8 мм и длиной 360 мм, если расход воды составляет 108 л/час, средняя температура воды  $t_f = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура стенки трубы  $t_w = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
5. Для измерения температуры горячего газа, движущегося по каналу,

установлена термопара, показание которой  $t_1 = 400$  °С., степень черноты горячего спая термопары и стенок канала одинакова и равна  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,78$ , а температура стенки канала при стационарном режиме  $t_2 = 300$  °С. Коэффициент теплоотдачи на поверхности спая термопары равен  $\alpha = 65$  Вт/(м<sup>2</sup> К). Определить ошибку в показании термопары, которая возникает вследствие лучистого теплообмена между спаем и стенками канала, и истинную температуру газа.

Перечень типовых заданий для проверки умений и владений представлен в приложении 1. *Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта 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.

*Оценка «пять» ставится, если обучающийся правильно отвечает на все теоретические вопросы билета, и приводит верное и аргументированное решение практического задания (задачи).*

*Оценка «четыре» ставится, если обучающийся верно понимает суть вопросов билета, но допускает незначительные неточности при ответе на теоретические вопросы или при выполнении практического задания.*

*Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в сущности поставленных вопросов и заданий, но нуждается в наводящих вопросах, а также допускает ошибки в решении задачи.*

*Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает поставленных заданий, не может ответить на теоретические вопросы билета, а также не справляется или допускает грубые ошибки в решении практического задания.*

## **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и 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 дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.



### **3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных 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 специалитета.

## **Приложение 1.**

### ***Типовые контрольные задания для оценки результатов обучения по дисциплине***

#### **Вопросы для контроля знаний:**

1. Механизмы передачи тепла: теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообмен излучением.
2. Тепловой поток, плотность теплового потока, температурное поле, изотермическая поверхность и ее свойства, градиент температуры.
3. Теплопроводность. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности и его физический смысл.
4. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Вид уравнения для частных случаев теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.
5. Краевые условия для уравнения теплопроводности.
6. Понятие о конвективном теплообмене. Явление теплоотдачи. Закон Ньютона-Рихмана, коэффициент теплоотдачи и его физический смысл.
7. Конвективный тепловой поток и способы его определения.
  
8. Тепловой и гидродинамический пограничные слои. Ламинарный и турбулентный режимы течения теплоносителей. Тепловое сопротивление пограничного слоя.
9. Дифференциальное уравнение теплоотдачи в пограничном слое. Зависимость коэффициента теплоотдачи от толщины и структуры пограничного слоя.
  
11. Основы теории подобия. Геометрическое, физическое и временное подобие. Условия подобия физических явлений.

12. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Критерий Нуссельта.
13. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Числа Фурье и Пекле.
14. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Число Рейнольдса.
15. Уравнения подобия. Общий вид уравнений подобия и определение постоянных коэффициентов. Определяющие температура и размер.
16. Применение теории подобия для определения коэффициента теплоотдачи. Число Прандтля. Влияние направления теплового потока на величину коэффициента теплоотдачи.
17. Физическая сущность лучистого теплообмена, виды лучистых потоков и радиационные характеристики тел.
18. Законы теплового излучения: Планка, Вина, Стефана-Больцмана.
19. Эффективный и результирующий потоки излучения. Закон Кирхгофа.

### **Задания для контроля умений:**

1. Теплопроводность при стационарном режиме: однослойная и многослойная плоские стенки.
2. Теплопроводность при стационарном режиме: однослойная и многослойная цилиндрические стенки.
3. Явление теплопередачи. Теплопередача через плоскую стенку.
4. Явление теплопередачи. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
5. Тепловая изоляция. Критический диаметр тепловой изоляции.
6. Теплоотдача при течении жидкости в трубах и каналах.
7. Теплоотдача при свободной конвекции. Число Грасгофа. Внешнее обтекание горизонтальных и вертикальных труб. Теплопроводность газовых зазоров.
8. Теплообмен излучением между телами. Приведенная степень черноты.
9. Защита от излучения с помощью экранов.
10. Теплообменные аппараты. Классификация. Рекуперативные теплообменные аппараты. Схемы движения теплоносителей. Уравнения для расчета теплообменных аппаратов.
11. Конструкторский расчет рекуперативного теплообменного аппарата.
12. Теплопроводность с внутренними источниками теплоты: плоская стенка с граничными условиями 1 рода.
13. Теплопроводность с внутренними источниками теплоты: сплошной цилиндр с граничными условиями 1 рода.