

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



*С.Т. Князев*

С.Т. Князев

«29» апреля

2019 г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Модуль	Код модуля
Теплотехника	1153820

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
<b>Образовательная программа</b> Энергетическое машиностроение	<b>Код ОП</b> 13.03.03/33.03
<b>Траектория образовательной программы (ТОП)</b>	
<b>Направление подготовки</b> Энергетическое машиностроение	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 13.03.03
<b>Уровень подготовки</b> высшее образование – бакалавриат	

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра
1	Толмачёв Евгений Михайлович	Д.т.н., доцент	Профессор	Теплоэнергетики и теплотехники
2	Королёв Владимир Николаевич	Д.т.н., профес сор	Профессор, руководитель модуля	Теплоэнергетики и теплотехники

Рекомендовано учебно-методическим советом Уральского энергетического института

Протокол № 94 от 15.03.2019г.

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ



Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Теплотехника

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль «Теплотехника» включен в учебный план образовательной программы, реализуемой по самостоятельно установленному образовательному стандарту (СУОС) УРФУ, и состоит из дисциплин «Термодинамика», «Тепломассообмен», направленных на формирование основных понятий термодинамики, знаний о законах термодинамики, принципах эффективного преобразования теплоты в работу в тепловых двигателях, процессах тепломассообмена.

## 1.2 Структура и объем модуля

Таблица 1.

№ п/п	Перечень дисциплин модуля	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах и часах	Форма итоговой промежуточной аттестации по дисциплинам модуля и в целом по модулю
1.	Термодинамика	5/180	зачет
2	Тепломассообмен	4/144	зачет
3	Проект по модулю	1/36	Проект по модулю
ИТОГО по модулю:		<b>10/360</b>	Проект по модулю

## 1.3 Последовательность освоения дисциплин в модуле

<b>Пререквизиты и постреквизиты в модуле</b>	Пререквизиты: дисциплина «Термодинамика» Постреквизиты: дисциплина «Тепломассообмен»
<b>Кореквизиты</b>	-

## 1.4.Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения по модулю

РО-3: Способность в рамках расчетно-проектной и проектно-конструкторской деятельности составлять техническое задание на проектирование и проводить расчеты по типовым методикам с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием.

Таблица 2.

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Термодинамика	ПК-1 – Способен рассчитывать элементы энергетических машин и установок с учетом свойств конструкционных материалов, динамических и тепловых нагрузок; ПК-3 – Способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов	Знать: <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные физические свойства жидкостей и газов;</li> <li>• законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации энергии;</li> <li>• законы и основные физико-математические модели рабочих тел тепловых двигателей применительно к энергетическим, теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам;</li> </ul>

	<p>в энергетических машинах и установках;  ПК-5 – Способен выполнять гидравлические расчеты, расчеты тепловых схем, газовых схем с выбором оборудования и арматуры, аэродинамические расчеты, разрабатывать проектную документацию по отдельным узлам и элементам тепломеханического оборудования на основании задания руководителя с учетом требований к обеспечению экологической безопасности и энерго- и ресурсосбережения.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• физические основы эксперимента и способы их реализации;</li> <li>• методы термодинамического расчёта и анализа циклов тепловых двигателей и энергоустановок.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решать задачи, связанные с термодинамическим расчётом рабочих тел тепловых двигателей и энергоустановок;</li> <li>• анализировать результаты решения конкретных задач с целью построения более совершенных схем энергоустановок;</li> <li>• использовать математический аппарат и информационные технологии при проведении расчётов;</li> <li>• пользоваться справочными данными и информационными базами по теплофизическим характеристикам рабочих тел и способам их обработки;</li> <li>• рассчитывать термодинамические и эксплуатационные характеристики энергетических установок;</li> <li>• анализировать экономическую эффективность тепловых двигателей и энергоустановок в зависимости от их конструктивных характеристик и режимных параметров;</li> <li>• производить сравнение термодинамической эффективности циклов различных тепловых двигателей.</li> </ul> <p>Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основами расчёта термодинамических процессов рабочих тел в элементах теплоэнергетического оборудования;</li> <li>• навыками теплотехнических расчётов с применением справочной литературы;</li> <li>• основными методами измерений, обработки результатов и оценки погрешности численных расчётов и экспериментальных измерений;</li> </ul>
Тепломассообмен		<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методы теплового расчета и теплового баланса различных энергоустановок;</li> <li>• основные физические свойства жидкостей и газов;</li> <li>• законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты;</li> <li>• законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к энергетическим, теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам;</li> <li>• физические основы эксперимента и способы их реализации.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решать задачи, связанные с тепловым расчетом теплообменников энергоустановок;</li> <li>• анализировать результаты решения конкретных задач с целью построения более совершенных моделей;</li> <li>• использовать математический аппарат и</li> </ul>

		<p>информационные технологии при проведении расчетов;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• пользоваться справочными данными и информационными базами по характеристикам материалов и способам их обработки;</li> <li>• рассчитывать передаваемые тепловые потоки;</li> <li>• рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкций тепловых и теплотехнологических установок с целью интенсификации процессов теплообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты;</li> <li>• измерять основные параметры объекта с помощью типовых измерительных приборов, оценивать погрешности измерений;</li> <li>• правильно оценивать результаты расчетов.</li> </ul> <p>Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основами расчета процессов теплообмена в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования;</li> <li>• навыками теплотехнических расчетов с применением справочной литературы;</li> <li>• основными методами измерений, обработки результатов и оценки погрешности измерений.</li> </ul>
--	--	--

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной и заочной формах.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИН МОДУЛЯ

### 2.1. ДИСЦИПЛИНА Термодинамика

#### 2.1.1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 3.

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	<b>Введение. Основные понятия и определения термодинамики</b>	
P1.T1	Предмет и метод термодинамики	Термодинамика как наука. Техническая термодинамика. Термодинамическая система. Макроскопическое тело. Термодинамическое равновесие. <i>Математический аппарат термодинамики.</i>
P1.T2	Параметры состояния.	Состояние термодинамической системы. Параметры состояния термодинамической системы, их физический смысл, способы измерения. Термическое уравнение состояния. Пространство состояний.
P1.T3	Удельные параметры.	Экстенсивные и интенсивные величины. Определение удельного параметра состояния термодинамической системы.

<b>P2</b>	<b>Термическое уравнение состояния. Идеальный газ. Смеси идеальных газов.</b>	
<b>P2.T1</b>	<i>Термическое уравнение состояния.</i>	<i>Термодинамическая поверхность. Термодинамические диаграммы.</i>
<b>P2.T2</b>	Идеальный газ.	Газовые законы. Термическое уравнение состояния идеального газа. Газовая постоянная.
<b>P2.T3</b>	Термодинамическая теория смесей не реагирующих идеальных газов	Закон Дальтона. Парциальное давление. Приведённый объём. Способы задания смеси. Вычисление газовой постоянной, молекулярной массы и плотности смеси идеальных газов
<b>P2.T4</b>	<i>Реальные газы</i>	<i>Термические уравнения состояния некоторых реальных газов: Ван-дер-Ваальса, Клаузиуса, Дитеричи, Редлиха-Квонга, Битти – Бриджмена, Бенедикта – Вебба – Рубина, Лан-Бореля</i>
<b>P3</b>	<b>Первое начало термодинамики</b>	
<b>P3.T1</b>	Общие положения	Первое начало термодинамики как закон сохранения полной энергии. Классификация воздействий. Работа и теплота. Классификация термодинамических систем по свойствам оболочки.
<b>P3.T2</b>	Работа в термодинамике	Определение понятия работы в термодинамике. Вычисление работы в термодинамике. Диаграмма $p-V$ . Изображение работы в диаграмме $p-V$ .
<b>P3.T3</b>	Теплота	Определение понятия теплоты в термодинамике. Вычисление количества теплоты. Теплоёмкость термодинамической системы. Зависимость теплоёмкости от различных факторов. Удельная теплоёмкость. Истинная и средняя теплоёмкость.
<b>P3.T4</b>	I начало термодинамики	Математическое выражение I начала термодинамики для неподвижных систем в интегральной и дифференциальной формах. Полный дифференциал внутренней энергии и неполные дифференциалы работы и теплоты.
<b>P3.T5</b>	Энтальпия. Полезная внешняя работа. Работа проталкивания	Преобразование Лежандра дифференциальной формы записи I начала термодинамики. Энтальпия. Физический смысл энтальпии. Полезная внешняя работа и работа проталкивания. Их физический смысл. Две формы записи I начала термодинамики с использованием внутренней энергии и энтальпии.
<b>P3.T6</b>	Теплоёмкости термодинамической системы	Теплоёмкости термодинамической системы при постоянном объёме и при постоянном давлении
<b>P3.T7</b>	Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия идеального газа	Вычисление внутренней энергии и энтальпии идеального газа с использованием молекулярно-кинетической теории. Теплоёмкости идеального газа при постоянном объёме и при постоянном давлении. Интегрирующий множитель для дифференциала теплоты. Энтропия идеального газа. Диаграмма $T-s$ . Вычисление энтропии идеального газа.
	<b>Термодинамические</b>	

<b>P4</b>	<b>процессы идеальных газов</b>	
<b>P4.T1</b>	Вводные замечания	Определение термодинамического процесса. Обратимые и необратимые процессы.
<b>P4.T2</b>	Постановка задачи	Цели и задачи термодинамического расчёта процессов. Система дифференциальных уравнений, описывающих обратимые процессы идеальных газов.
<b>P4.T3</b>	Политропные процессы	Определение политропного процесса. Уравнение политропного процесса в переменных $p-v$ и $T-s$ . Показатель политропы. Соотношения между параметрами в политропном процессе. Вычисление работы изменения объёма, полезной внешней работы и количества теплоты в политропном процессе. Теплоёмкость политропного процесса.
<b>P4.T4</b>	Частные случаи политропных процессов	Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатический процессы идеальных газов. Их расчёт и изображение в термодинамических диаграммах.
<b>P5</b>	<b>Второе начало термодинамики</b>	
<b>P5.T1</b>	Введение. Определения	Источник теплоты. Верхний и нижний источники теплоты. Тепловой двигатель (тепловая машина). Рабочее тело.
<b>P5.T2</b>	Общий анализ тепловых двигателей.	Первое начало термодинамики в применении к циклам тепловых двигателей. Принципиальная схема тепловой машины. Термический КПД цикла теплового двигателя.
<b>P5.T3</b>	Формулировки II начала термодинамики	Вечный двигатель II рода. Формулировки Томсона и Клаузиуса.
<b>P5.T4</b>	Работы Сади Карно	Цикл Карно. Теоремы Карно. Термический КПД цикла Карно.
<b>P5.T5</b>	Энтропия	Интеграл Клаузиуса. Энтропия. Неравенство Клаузиуса. Математическое выражение II начала термодинамики для обратимых и необратимых процессов. <i>Физический смысл энтропии. Критика теории «тепловой смерти» Вселенной.</i>
<b>P6</b>	<b>Термодинамика фазовых переходов</b>	
<b>P6.T1</b>	Определения	Фазы. Агрегатные состояния. <i>Гомогенные и гетерогенные системы. Многокомпонентные системы. Химический потенциал. Фазовые переходы I и II рода.</i>
<b>P6.T2</b>	<i>Условия термодинамического равновесия многофазных систем</i>	<i>Условия термодинамического равновесия двухфазных однокомпонентных систем. Условия термодинамического равновесия трёхфазных однокомпонентных систем. Условия термодинамического равновесия многофазных многокомпонентных систем. Правило фаз Гиббса. Формула Клапейрона-Клаузиуса.</i>
<b>P6.T3</b>	Фазовый переход «жидкость – пар»	Насыщенный пар. Влажный пар. Перегретый пар. Критическое состояние. Тройная точка. Пограничная кривая. Удельная теплота парообразования.

<b>Р6.Т4</b>	Термическое уравнение состояния водяного пара	Аналитическая и табличная формы представления уравнения состояния водяного пара. Диаграммы “ $p - v$ ” и “ $T - s$ ” для водяного пара.
<b>Р6.Т5</b>	Термодинамический расчёт процессов водяного пара	Система уравнений, описывающая обратимые процессы реальных газов (водяного пара). Частные случаи процессов водяного пара – изохорный, изобарный, изотермический и адиабатический. Их расчёт и изображение в диаграммах $p - v$ и $T - s$ . Диаграмма $h - s$ для водяного пара.
<b>Р7</b>	<b>Термодинамика потока</b>	
<b>Р7.Т1</b>	Постановка задачи исследования	Первое и второе начала термодинамики для движущихся систем. Техническая работа и работа сил трения. Приближения, используемые при термодинамическом описании течения газов и паров в каналах. Уравнение неразрывности. Массовый расход.
<b>Р7.Т2</b>	Расчёт течения газов и паров в каналах.	Сопло и диффузор. Скорость истечения и расход в адиабатически изолированных каналах. Кризис течения. Скорость звука. Число Маха. Закон обращения воздействий. Анализ закона обращения геометрического воздействия. Сужающееся сопло и сопло Лаваля. Особенности расчёта сопел. Учёт потерь на трение в соплах. Скоростной коэффициент и коэффициент потерь энергии. <i>Понятие о расходящем и тепловом соплах. Нерасчётные режимы течения.</i>
<b>Р7.Т3</b>	<i>Дросселирование газов и паров</i>	<i>Процесс дросселирования. Эффект Джоуля – Томсона. Дифференциальный и интегральный дроссель-эффект. Температура инверсии. Кривая инверсии. Дросселирование ван-дер-ваальсовского газа.</i>
<b>Р8</b>	<b>Термодинамический метод исследования циклов тепловых двигателей</b>	Произвольный обратимый цикл. Среднеинтегральные температуры подвода и отвода тепла. Методы сравнения термодинамической эффективности циклов тепловых машин: аналитический, по площадям, по среднеинтегральным температурам. <i>Регенерация тепла. Обобщённый цикл Карно. Система КПД теплового двигателя.</i>
<b>Р9</b>	<b>Компрессорные машины</b>	
<b>Р9.Т1</b>	<i>Одноступенчатый поршневой компрессор</i>	<i>Назначение и типы компрессоров. Поршневые, центробежные и осевые компрессоры. Термодинамический анализ работы компрессора. Расчёт мощности, затрачиваемой на привод компрессора. Учёт мёртвого пространства.</i>
<b>Р9.Т2</b>	<i>Многоступенчатый компрессор</i>	<i>Выбор числа ступеней компрессора. Выбор степени повышения давления в ступенях многоступенчатого компрессора из условия минимума затрачиваемой мощности.</i>
<b>Р10</b>	<b>Поршневые двигатели внутреннего сгорания</b>	



<b>P10.T1</b>	Общие вопросы	Устройство, принцип действия и классификация двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Индикаторная диаграмма. Степень сжатия. Топлива, применяемые в поршневых ДВС.
<b>P10.T2</b>	Цикл ДВС $V=const$ (Цикл Отто)	ДВС с подводом теплоты при постоянном объёме (карбюраторный двигатель). Его конструктивные характеристики. Расчёт ДВС $V=Const$ . Изображение цикла в термодинамических диаграммах, его анализ.
<b>P10.T3</b>	Цикл ДВС $p=const$ (Цикл Дизеля)	ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении (дизельный двигатель). Его конструктивные характеристики. Расчёт ДВС $V=Const$ . Изображение цикла в термодинамических диаграммах, его анализ.
<b>P10.T4</b>	Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты (Цикл Тринклера)	Расчёт ДВС $p=Const$ . ДВС со смешанным подводом теплоты (двигатель Тринклера). Его конструктивные характеристики, расчёт и изображение в термодинамических диаграммах.
<b>P10.T5</b>	Сравнение циклов поршневых двигателей	Сравнение термических КПД циклов поршневых ДВС по различным условиям.
<b>P11</b>	<b>Циклы газотурбинных установок</b>	Преимущества газотурбинных двигателей по сравнению с поршневыми ДВС. Классификация газотурбинных установок (ГТУ).
<b>P11.T1</b>	ГТУ $p=const$ (расчёт)	Принципиальная схема ГТУ $p=const$ . Приближения, используемые при термодинамическом расчёте газотурбинных установок. Изображение цикла ГТУ $p=const$ в диаграммах $p-v$ и $T-s$ . Конструктивные характеристики цикла. Термодинамический расчёт цикла ГТУ $p=const$ . Учёт необратимых потерь в компрессоре и в турбине.
<b>P11.T2</b>	ГТУ $p=const$ (анализ)	Цикл ГТУ $p=const$ с оптимальным отношением давлений в компрессоре. Регенерация тепла в цикле ГТУ $p=const$ . Цикл ГТУ $p=const$ с изотермическими процессами сжатия в компрессоре и расширения в турбине. Цикл ГТУ $p=const$ с многоступенчатым сжатием в компрессоре и расширением в турбине. Цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объёме (ГТУ $V=const$ ).
<b>P12</b>	<b>Циклы паросило- х установок</b>	
<b>P12.T1</b>	Цикл Карно Цикл Ренкина	Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Карно в области влажного пара. Его преимущества и недостатки. Цикл Ренкина в области влажного пара. Изображение цикла в диаграммах $p-v$ , $T-s$ , $h-s$ . Цикл Ренкина на перегретом паре. Его термодинамический расчёт. Вычисление расхода пара, расхода топлива в парогенераторе и расхода охлаждающей воды в конденсаторе.
<b>P12.T2</b>	Анализ цикла Ренкина	Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина. Требования к рабочему веществу цикла Ренкина. Цикл Ренкина с учётом необратимых потерь.
<b>P12.T3</b>	Способы повышения термического КПД цикла Ренкина	Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара. Цикл Ренкина с отбором пара на регенерацию. Расчёт цикла с регенеративными подогревателями смешивающего и поверхностного типа. Комбинированные циклы. Парогазовые циклы. Бинарные циклы. Циклы атомных электростанций.
<b>P12.T4</b>	Теплофикация	Термодинамические основы теплофикации. Теплофикационные паровые циклы. Теплофикационный цикл с противодавлением. Теплофикационный цикл с отбором пара. Характеристики теплофикационных циклов: коэффициент использования тепла пара, коэффициент использования тепла топлива, коэффициент теплофикации.

<b>P13</b>	<b>Циклы холодильных машин и тепловых насосов</b>	
<b>P13.T1</b>	<i>Обратные циклы</i>	<i>Обратные циклы. Обратный цикл Карно. Принципиальная схема холодильной установки. Холодопроизводительность. Холодильный коэффициент.</i>
<b>P13.T2</b>	<i>Цикл воздушной холодильной установки</i>	<i>Принципиальная схема установки. Турбодетандер. Изображение цикла в термодинамических диаграммах, его расчёт и анализ.</i>
<b>P13.T3</b>	<i>Цикл парокompрессорно й холодильной установки</i>	<i>Принципиальная схема установки. Дроссельный вентиль. Требования к рабочим телам (хладагентам) парокompрессорных холодильных установок. Цикл с влажным ходом компрессора. Цикл с сухом ходом компрессора</i>
<b>P13.T4</b>	<i>Тепловой насос</i>	<i>Цикл теплового насоса. Принципиальная схема. Отопительный коэффициент. Термодинамический расчёт теплового насоса</i>
<b>P14</b>	<b>Влажный воздух</b>	<i>Абсолютная и относительная влажность влажного воздуха. Влагосодержание. Точка росы. Гигрометр. Психрометр. Диаграмма <math>h-d</math> для влажного воздуха. Расчёт процесса сушки влажного материала</i>
<b>P15</b>	<b>Эксергетический метод</b>	<i>Максимальная работа. Эксергия. Эксергия неподвижной термодинамической системы. Эксергия потока. Эксергия теплоты. Эксергетический КПД.</i>

### **2.1.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ Термодинамика**

#### **Литература**

1. Королёв В.Н., Толмачёв Е.М. Техническая термодинамика / Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2007. 180 с.
2. Толмачёв Е.М. Техническая термодинамика. Термодинамический расчёт и анализ циклов газовых двигателей и паросиловых установок / Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2007. 90 с.
3. А.В. Островская, Е.М. Толмачёв, В.С. Белоусов, С.А. Нейская. Техническая термодинамика. В 2 ч. Ч. 1: учебное пособие / Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. 155 с.
4. А.В. Островская, Е.М. Толмачёв, В.С. Белоусов, С.А. Нейская. Техническая термодинамика. В 2 ч. Ч. 2: учебное пособие / Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. 106 с
5. Архаров, А.М. Теплотехника: учебник для втузов / А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.Н. Афанасьев и др.; под общ. ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 712 с.
6. . Глаголев К.В., Морозов А.Н. Физическая термодинамика / Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 272 с
7. Новиков И.И. Термодинамика. М.: Машиностроение, 1984. 592 с.
8. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. М.: Машиностроение, 1972. 672 с.
9. Кириллин В.А., Сычёв В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Наука, 1979. 512 с.
- 10.Новиков И.И., Воскресенский К.Д. Прикладная термодинамика и теплопередача. М.: Атомиздат, 1977. 350 с.

#### **Методические разработки**

1. Термодинамические свойства некоторых жидкостей, газов и газовых

смесей: справочно-информационные материалы по курсам: «Термодинамика», «Термодинамика и тепломассообмен», «Теоретические основы теплотехники» / В.С. Белоусов, Б.П. Жилкин, С.А. Нейская, А.В. Островская. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2009. 32 с.

2. Техническая термодинамика: методические указания к лабораторным работам / Е.М. Толмачёв, В.С. Белоусов, Б.П. Жилкин, А.В. Островская, Г.П. Ясников. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2006. 48 с.

### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. [www.thermophysics.ru/triptych](http://www.thermophysics.ru/triptych) - «Информационный триптих теплофизических свойств веществ» - информационно-аналитическая система для хранения и распространения библиографических и численных данных о теплофизических свойствах веществ

2. Терминология. Теоретические основы теплотехники / В.С. Белоусов, В.Н. Королёв, Б.Г. Сапожников, Е.М. Толмачёв. – Екатеринбург: УрФУ им. Б.Н. Ельцина, 2012. – Учебное электронное текстовое издание: Информационный портал УрФУ <http://www.ustu.ru>

3. Е.М. Толмачёв. Техническая термодинамика. Термодинамический расчёт и анализ циклов газовых двигателей и паросиловых установок. В 3-х частях: (учебное пособие) /

Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2007 (Учебное электронное текстовое издание. Информационный портал ГОУ ВПО УГТУ – УПИ <http://www.ustu.ru>

4. Зональная научная библиотека: <http://lib.urfu.ru>

5. М.Ю. Иванов. Теплофизические свойства воды и водяного пара: [www.parvo95](http://www.parvo95)

6. А.А. Александров, К.А. Орлов. WaterSteamPro: [www.wsp.ru](http://www.wsp.ru)

### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### 2.1.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ Термодинамика

#### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	<i>Лекционные и практические занятия</i>	Учебная мебель на 50 рабочих мест. Рабочее место преподавателя (стол, стул) Доска учебная меловая. Epson EB-X9LCD 2500lm Экран Projecta Rro RroSCREEN 213*280 Компьютер i5-3470 Кондиционер LG  Электронные ресурсы: <a href="http://learn.urfu.ru">http://learn.urfu.ru</a> , Гиперметод <a href="http://connect.urfu.ru/room_08">http://connect.urfu.ru/room_08</a> , Комната 08	"Операционная система Windows 7 – корпоративная лицензия, срок действия - б/с; Браузер Google Chrome – свободное ПО; MS Office 2013 – корпоративная лицензия, срок действия – б/с. Mozilla Firefox – свободное ПО; 7-Zip – свободное ПО; Adobe Reader XI – свободное ПО; Nitro Pro 8; StarBoard Software 9.4; Microsoft Project профессиональный; LiteManager Pro – Server: ДИТ
2	<i>Лабораторные занятия</i>	<b>Лаборатория на 8 человек (подгруппа):</b> Печь камерная высокотемпературная ПВК-1,4-25 Сушильный шкаф СНОЛ67/350 Печь муфельная ПМ-1,0-7	

		Печь трубчатая ПТ-1,2-20 Печь трубчатая ПТ-1,2-40 Шкаф сушильный СНОЛ 24/2 Весы электронные ВЛЭ-134 Вытяжной шкаф Парты учебные - 8 шт. Лабораторная мебель с керамическим покрытием на 8 рабочих мест.	
--	--	---	--

## 2.2.ДИСЦИПЛИНА Теплообмен

### 2.2.1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 3.

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	<b>Введение.</b> Способы переноса теплоты в пространстве	
P1.T1	Перенос теплоты теплопроводностью	Перенос теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением. Процессы теплоотдачи и теплопередачи. Температурное поле. Закон Био-Фурье - основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Механизм переноса теплоты в газах, жидкостях и твердых телах. Дифференциальное уравнение теплопроводности для твердого тела. Коэффициент температуропроводности. Условия однозначности.
P2	<b>Теплопроводность при стационарном режиме</b>	
P2.T1	Теплопроводность и теплопередача через плоские стенки	Передача теплоты через одно-и многослойные плоские стенки при граничных условиях первого рода. Передача теплоты через одно-и многослойные плоские стенки при граничных условиях третьего рода. Коэффициент теплопередачи.
P2.T2	Теплопроводность и теплопередача через цилиндрические стенки	Передача теплоты через одно-и многослойные цилиндрические стенки при граничных условиях первого рода. Передача теплоты через одно-и многослойные цилиндрические стенки при граничных условиях третьего рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции.
P3	<b>Интенсификация процесса теплопередачи</b>	
P3.T1	Способы интенсификации теплопередачи	Способы интенсификации теплопередачи. Теплопередача через ребристую стенку (приближенный расчет). Распределение температуры по длине ребра. Тепловой поток, передаваемый с поверхности ребра. Уточненный расчет теплопередачи через ребристую стенку.
P4	<b>Теплопроводность при нестационарном режиме</b>	
P4.T1	Теплопроводность при нагревании (охлаждении) тел	Виды нестационарных процессов. Теплопроводность тонкой пластины при граничных условиях третьего рода. Анализ полученного решения, частные случаи, Физический смысл безразмерных чисел Био и Фурье. Определение количества теплоты, отдаваемого или воспринимаемого телом в процессе нестационарной

		теплопроводности. Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров. Регулярный тепловой режим
<b>P5</b>	<b>Конвективный теплообмен</b>	
<b>P5.T1</b>	Основные положения конвективного теплообмена	Виды движения жидкости. Режимы движения жидкости. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Физические свойства жидкости. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Безразмерные числа Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Пекле. Их физический смысл. Определяющий геометрический размер и определяющая температура. Теоремы подобия.
<b>P5.T2</b>	Теплоотдача при вынужденном ламинарном и турбулентном режиме движения жидкости вдоль плоской поверхности.	Определение границ ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Интегральное уравнение теплового потока. Расчет теплоотдачи при турбулентном пограничном слое на основе гидродинамической теории теплообмена.
<b>P5.T3</b>	Теплоотдача при вынужденном ламинарном и турбулентном режиме течения жидкости в трубе	Особенности течения и теплообмена в трубах. Ламинарный и турбулентный режим. Тепловая и гидродинамическая стабилизация. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режим течения. Расчетные уравнения. Особенности теплоотдачи при тении жидкости в трубах некруглого сечения.
<b>P5.T4</b>	Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании одиночной трубы и пучка труб	Картина обтекания одиночной трубы набегающим потоком жидкости. Изменение локального коэффициента теплоотдачи по периметру трубы. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи. Картина обтекания пучка труб. Режимы движения жидкости в пучке труб. Расчетные формулы для определения среднего коэффициента теплоотдачи для труб, начиная с третьего ряда. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи для всего пучка труб.
<b>P5.T5</b>	Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном и ограниченном пространстве	. Расчет теплоотдачи при свободном ламинарном и турбулентном движении жидкости вдоль вертикальной стенки в неограниченном пространстве. Теплоотдача при движении жидкости вблизи горизонтально расположенной трубы. Методика расчета теплоотдачи при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве.
<b>P6</b>	<b>Теплообмен при фазовых превращениях</b>	
<b>P6.T1</b>	Теплоотдача при конденсации водяного пара на вертикальной поверхности и горизонтально расположенных трубах	Пленочная и капельная конденсация. Теплоотдача при конденсации сухого насыщенного пара на вертикальной поверхности при ламинарном режиме течения пленки конденсата. Теплоотдача при конденсации пара на горизонтальной трубе и пучках труб. Факторы, влияющие на теплообмен при конденсации
	Теплоотдача при кипении жидкости	Режимы кипения. Условия, необходимые для возникновения процесса кипения. Влияние перегрева жидкости на величину коэффициента теплоотдачи. Расчетные формулы

<b>Р6.Т2</b>	в большом объеме	коэффициента теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения.
<b>Р7</b>	<b>Теплообмен излучением</b>	
<b>Р7.Т1</b>	Основные понятия	Особенности излучения и поглощения энергии твердыми, жидкими и газообразными средами. Виды тепловых потоков. Разновидности полусферического излучения. Связь эффективного и результирующего излучения. Законы теплового излучения.
<b>Р7.Т2</b>	Теплообмен излучением между телом и его оболочкой	Теплообмен излучением в замкнутой системе, состоящей из двух серых тел. Приведенная степень черноты. Средний угловой коэффициент излучения. Частные случаи. Сложный теплообмен.
<b>Р8</b>	<b>Теплообменные аппараты</b>	
<b>Р8.Т1</b>	Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата	Виды теплообменных аппаратов. Схемы движения теплоносителей. Основные положения теплового расчета. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднеинтегральный температурный напор. Сравнение прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей
<b>Р9</b>	<b>Массообмен</b>	
<b>Р9.Т1</b>	Молекулярный и конвективный массообмен	Массовая и мольная концентрация вещества. Градиент концентрации. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Запись закона Фика через парциальное давление. Вычисление плотности потока массы. Диффузионный пограничный слой. Уравнение массоотдачи. Аналогия между процессами тепло- и массообмена. Безразмерные числа Шервуда и Шмидта. Определение коэффициента массоотдачи.

### **2.2.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ Тепломассообмен**

#### **Литература**

1. Теплообменники энергетических установок: учебник для вузов/ К.Э. Аронсон [и др.]; под ред. проф., д-ра техн. наук Ю.М. Бродова. Екатеринбург: Сократ, 2002. - 968 с.
2. Б.Г. Сапожников. Тепломассообмен: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. -188 с.
3. Ф.Ф.Цветков, Б.А. Григорьев. Тепломассообмен: учебное пособие для вузов. М.: МЭИ, 2005. - 550 с.
4. С.С. Кутателадзе. Основы теории теплообмена. Новосибирск: Наука, 1989. - 416 с.
5. В.Н. Королев. Тепломассообмен: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. - 300 с.

#### **Методические разработки**

6. Тепломассообмен. Теплопроводность и конвективный теплообмен: методические указания к лабораторным работам / Л.К. Васанова, Б.Г. Сапожников, В.Н.Королев, Ю.О.Зеленкова. Екатеринбург: УГТУ-УПИ , 2010. - 26 с.
7. Тепломассообмен. Конвективный и лучистый теплообмен: методические указания к лабораторным работам / Л.К. Васанова, Б.Г. Сапожников, В.Н.Королев, Ю.О.Зеленкова. Екатеринбург: УГТУ-УПИ , 2010. - 24 с.

#### **Электронные образовательные ресурсы**

Королев В.Н., Красных В.Ю. Тепломассообмен. Основные формулы, задачи и

способы их решения [Электронный ресурс]

[http://study.urfu.ru/view/aid\\_view.aspx?AidId=11407](http://study.urfu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=11407)

### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. [www.thermophysics.ru/triptych](http://www.thermophysics.ru/triptych) - «Информационный триптих теплофизических свойств веществ» - информационно-аналитическая система для хранения и распространения библиографических и численных данных о теплофизических свойствах веществ
2. Терминология. Теоретические основы теплотехники / В.С. Белоусов, В.Н. Королёв, Б.Г. Сапожников, Е.М. Толмачёв. – Екатеринбург: УрФУ им. Б.Н. Ельцина, 2012. – Учебное электронное текстовое издание: Информационный портал УрФУ <http://www.ustu.ru>
3. Е.М. Толмачёв. Техническая термодинамика. Термодинамический расчёт и анализ циклов газовых двигателей и паросиловых установок. В 3-х частях: (учебное пособие) / Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2007 (Учебное электронное текстовое издание. Информационный портал ГОУ ВПО УГТУ – УПИ <http://www.ustu.ru>
4. Зональная научная библиотека: <http://lib.urfu.ru>
5. М.Ю. Иванов. Теплофизические свойства воды и водяного пара: [www.parvo95](http://www.parvo95)
6. А.А. Александров, К.А. Орлов. WaterSteamPro: [www.wsp.ru](http://www.wsp.ru)

### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### 2.2.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ Тепломассообмен

#### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	<i>Лекционные и практические занятия</i>	Учебная мебель на 50 рабочих мест. Рабочее место преподавателя (стол, стул) Доска учебная меловая. Epson EB-X9LCD 2500lm Экран Projecta Rro RroSCREEN 213*280 Компьютер i5-3470 Кондиционер LG <b>Электронные ресурсы:</b> <a href="http://learn.urfu.ru">http://learn.urfu.ru</a> , Гиперметод <a href="http://connect.urfu.ru/room_08">http://connect.urfu.ru/room_08</a> , Комната 08	"Операционная система Windows 7 – корпоративная лицензия, срок действия - б/с; Браузер Google Chrome – свободное ПО; MS Office 2013 – корпоративная лицензия, срок действия – б/с. Mozilla Firefox – свободное ПО; 7-Zip – свободное ПО; Adobe Reader XI – свободное ПО; Nitro Pro 8; StarBoard Software 9.4; Microsoft Project профессиональный; LiteManager Pro – Server: ДИТ
2	<i>Лабораторные занятия</i>	<b>Лаборатория на 8 человек (подгруппа):</b> Печь камерная высокотемпературная ПВК-1,4-25 Сушильный шкаф СНОЛ67/350 Печь муфельная ПМ-1,0-7 Печь трубчатая ПТ-1,2-20 Печь трубчатая ПТ-1,2-40 Шкаф сушильный СНОЛ 24/2 Весы электронные ВЛЭ-134 Вытяжной шкаф Парты учебные - 8 шт. Лабораторная мебель с керамическим покрытием на 8 рабочих мест.	