



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП 21.03.01  
Нефтегазовое дело

(подпись)

Никитина А.В.

(Ф.И.О. рук. ОП)

«25» июня 2019г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
Нефтегазового дела и нефтехимии  
(название кафедры)

(подпись)

Гульков А.Н.

(Ф.И.О. зав. каф.)

«25» июня 2019г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Термодинамика и теплопередача**

Направление подготовки: 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки», «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта»

**Форма подготовки: очная**

Курс 2, семестр 4

лекции 18 час.

практические занятия 36 час.

лабораторные работы – час.

в том числе с использованием МАО лек. 4 \_\_\_ /пр. 6 \_\_\_ /лаб. \_\_\_ час.

всего часов аудиторной нагрузки 54 час.

в том числе с использованием МАО 10 час.

самостоятельная работа 90 час.

в том числе на подготовку к экзамену 27 час.

контрольные работы (количество) 2

курсовая работа / курсовой проект \_\_\_ семестр / курс

зачет 4 семестр

экзамен \_\_\_ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 09 февраля 2018 г. № 96

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Нефтегазового дела и нефтехимии, протокол от 24.06.2019 № 11.

Заведующий кафедрой НГД и НХ: д.т.н., профессор Гульков А.Н.

Составитель: к.т.н., доцент Цыбульская О.Н.

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры Нефтегазового дела и нефтехимии**

Протокол от «21» января 2020 г. № 4. Изменений нет.

Заведующий кафедрой



(подпись)

А.Н. Гульков  
(И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

к рабочей программе учебной дисциплины «Термодинамика и теплопередача»

Рабочая программа учебной дисциплины (РПУД) «Термодинамика и теплопередача» разработана для студентов 2 курса очной формы обучения по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело», профиль подготовки «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта», в соответствии с требованиями ФГОС по данному направлению. Общая трудоемкость освоения дисциплины «Термодинамика и теплопередача» 144 часов (4 з.е.). Учебным планом предусматриваются лекционные занятия (18 часов), практические занятия (36 часов) и самостоятельная работа студентов (90 часов). Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3 семестрах.

Курс «Термодинамика и теплопередача» непосредственно связана с дисциплинами естественнонаучного и математического цикла (математика, физика, химия и др.) и опирается на освоенные при изучении данных дисциплин знания и умения, объединяет их методы в направлении приложения к технологическим процессам и производству, а также служит теоретической основой для специальных дисциплин.

Структура дисциплины:

1. Техническая термодинамика
2. Теория теплообмена

При изучении курса «Термодинамика и теплопередача» студенты должны приобрести знания основных законов получения, передачи и преобразования тепловой энергии, методов эффективного использования теплоты, принципов действия и областей применения теплоэнергетического оборудования, особенностей конструкции, функционирования и основы расчета общего гидравлического и тепломассообменного оборудования, научиться производить тепловые расчеты и измерения основных теплотехнических показателей, проводить технико-экономическую оценку эффективности методов генерации, передачи и использования тепловой энергии, а так же овладеть расчетом основных термо-

динамических циклов и процессов переноса тепла и массы в простейших гидравлических и тепломассообменных аппаратах и устройствах.

**Цель** – формирование базовых знаний о фундаментальных законах существования тепловых процессов и понятий термодинамики, механизмов энергопревращений и реализации их в циклах энергоустановок с оценкой их эффективности.

**Задачи:**

- овладение знаниями в области основ теплотехники с учетом дальнейшего обучения и подготовки к профессиональной деятельности;
- подготовка высококвалифицированного специалиста, владеющего навыками грамотного руководства проектированием и эксплуатацией современного производства, представляющего собой совокупность технологических и тепловых процессов и соответствующего технологического и теплоэнергетического оборудования.

Для успешного изучения дисциплины «Термодинамика и теплопередача» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность к самоорганизации и самообразованию;
- способность владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, работать с компьютером как средством управления информацией.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-1. Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонауч-	Знает	- основные понятия и законы термодинамики, а также процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов теплопередачи в технологических процессах, различных аппаратах и устройствах; - принципиальные особенности моделирования процессов термодинамики и теплопередачи, пред-

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ные и инженерные общие знания		назначенные для конкретных технологических процессов
	Умеет	- рассчитывать процессы теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе
	Владеет	- навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, протекающих в конкретных технических системах
ПК-12 Способность выполнять работы по проектированию технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности	Знает	- технику и технологию проведения проектирования технологических процессов на объектах нефтегазовой отрасли; - передовые достижения науки и техники в области изучения способов передачи тепла в технологических процессах, аппаратах и устройствах
	Умеет	- анализировать и обобщать опыт разработки технических и технологических проектов, использовать стандартные программные средства при проектировании производственных и технологических процессов в нефтегазовой отрасли; - самостоятельно и творчески использовать основные законы и методы термодинамики и теплопередачи
	Владеет	- навыками проектирования отдельных разделов технических и технологических проектов; - методами расчета основных процессов теплопередачи, особенностями прикладного использования теории в условиях практики

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Термодинамика и теплопередача» применяются методы активного обучения: вопросы от студента к преподавателю или от преподавателя к студенту и индивидуальные задания, примеры типовых заданий с рекомендациями к выполнению приведены в Приложении 1.

В качестве метода интерактивного обучения проводятся обсуждения в группе при проведении ниже указанных лекционных и практических занятий.

Лекционные занятия по следующим темам:

Тема 6. Основные понятия и определения теории теплообмена. Стацио-

нарная теплопроводность (2 ч.)

Тема 8. Конвективный теплообмен в однородной среде. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена; применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена (2 ч.)

Практические занятия:

Занятие 10. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании цилиндра и пучка труб (4 ч.)

Занятие 12. Теплообмен между твердыми телами, разделенными прозрачной средой (2 ч.)

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

## **Лекционные занятия (18 ч.)**

### **Раздел I. Техническая термодинамика (6 ч.)**

#### **Тема 1. Первый закон термодинамики (2 ч.)**

Основные понятия и определения термодинамики. Предмет технической термодинамики и ее методы. Термодинамическая система. Основные параметры состояния рабочего тела. Равновесное и неравновесное состояние. Термическое уравнение состояния рабочего тела. Внутренняя энергия и энтальпия рабочего тела как функция состояния. Работа изменения объема рабочего тела. Первый закон термодинамики.

#### **Тема 2. Основные законы идеальных газов. Теплоемкость идеальных газов. Основные процессы идеальных газов (1 ч.)**

Понятие теплоемкости, удельная теплоемкость. Истинная и средняя теплоемкости. Теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$ . Уравнение Майера. Зависимость теплоемкости от температуры. Теплоемкость газовых смесей. Основные процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропные процессы).

#### **Тема 3. Второй закон термодинамики (1 ч.)**

Термодинамическая обратимость процессов. Обратимые циклы и оценка их эффективности. Основные формулировки второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Энтропия. T-s – диаграмма идеального газа. Регенеративный цикл. Среднеинтегральная температура. Изменение энтропии в необратимых процессах. Физический смысл энтропии и эксергия тепла. Аналитическое выражение второго закона термодинамики.

#### **Тема 4. Реальные газы. Пары и водяной пар. Влажный воздух (1 ч.)**

Свойства реальных газов, внутренняя энергия реального газа, сжимаемость реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Пары водяной пар, основные понятия. Парообразование в p-v-диаграмме. Тройная точка, правило фаз. Влажный пар и его параметры. T-s – диаграмма водяного пара. Влажный воздух, основные определения. Относительная влажность воздуха. Средняя молекулярная масса, газовая постоянная и плотность влажного воздуха. Влагосодержание и энтальпия влажного воздуха. Id-диаграмма влажного воздуха. Расчет основных процессов влажного воздуха (подогрев, сушка, смеси воздуха и различных паров).

#### **Тема 5. Циклы двигателей внутреннего сгорания (1 ч.)**

Общие сведения о двигателях внутреннего сгорания. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Отто). Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Дизеля). Цикл со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера). Сравнение циклов ДВС.

## РАЗДЕЛ II. Теория теплообмена (12 ч.)

### Тема 6. Основные понятия и определения теории теплообмена. Стационарная теплопроводность с использованием интерактивного метода обсуждения в группе (2 ч.)

Способы тепло- и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Феноменологический метод изучения явлений тепло- и массообмена. Определение основных понятий: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока. Вектор плотности теплового потока. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей и твердых тел.

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности. Закон Ньютона-Рихмана. Перенос тепла в плоской стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр цилиндрической стенки. Критический диаметр тепловой изоляции.

Температурное поле при наличии в теле источников теплоты (пластина, цилиндрический стержень).

Оребрение поверхности нагрева как способ интенсификации процесса теплопередачи.

Перенос тепла по стержню (ребру). Тепловой поток с поверхности стержня (ребра). Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра.

Численные методы решения задач стационарной теплопроводности; компьютерное моделирование.

Типовые вопросы для группового обсуждения:

- ✓ Можно ли вычислить критический диаметр цилиндрической стенки, не учитывая условий теплообмена её внешней поверхности с окружающей средой?
- ✓ Если на двух плоских стенках одинаковой толщины наблюдается одинаковый перепад температур, то может ли быть различной плотность теплового потока через эти стенки?
- ✓ Если у однородной цилиндрической стенки исследовать два одинаковых по толщине слоя – внутренний и внешний, то могут ли перепады температур в этих слоях оказаться одинаковыми?
- ✓ Может ли возрасти тепловой поток через цилиндрическую стенку вследствие увеличения её толщины, если при этом сохраняются неизменными температура внутреннего слоя стенки, температура окружающей среды, коэффициент теплоотдачи от наружного слоя стенки к окружающей среде?

### Тема 7. Нестационарная теплопроводность (2 ч.)

Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) пластины. Метод Фурье. Безразмерная форма решения задачи о нестационарной теплопроводности.



сти пластины. Число Био. Безразмерное время (число Фурье).

Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) бесконечно длинного цилиндра, шара и некоторых тел конечных размеров.

Задача об охлаждении (нагревании) полуограниченного тела как модель начального периода нестационарной теплопроводности тела произвольной формы.

Регулярный режим охлаждения. Определение теплофизических свойств материалов методом регулярного режима. Теоремы Кондратьева.

Численные методы для нестационарной теплопроводности.

**Тема 8. Конвективный теплообмен в однородной среде. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена; применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена с использованием интерактивного метода обсуждения в группе (2 ч.)**

Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности.

Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по числу Прандтля.

Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Рэлея, число Нуссельта. Теория подобия и размерности. Пограничный слой. Турбулентность. Рейнольдсовы преобразования дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля.

**Типовые вопросы для группового обсуждения:**

- ✓ В том случае, когда подобие двух процессов достигнуто, могут ли отличаться числовые значения физических величин в сходственных точках?
- ✓ В том случае, когда подобие двух процессов достигнуто, равны ли в сходственных точках одноименные зависимые безразмерные величины?
- ✓ Должны ли быть одинаковыми числовые значения коэффициентов теплоотдачи вследствие того, что два различных процесса теплоотдачи удовлетворяют трем условиям однозначности?

**Тема 9. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекание трубы и пучка труб (2 ч.)**

Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. Аналогия Рейнольдса.

Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании трубы и пучка труб.

Теплообмен при движении теплоносителей в трубах и каналах. Первое начало термодинамики для течения в трубах. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи.

Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении в трубе. Интеграл Лайона. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Турбулентное движение в трубах. Формулы Михеева и Петухова.

Теплоотдача при течении жидких металлов. Теплообмен сжимаемого газа.

Теплообмен при сверхкритическом состоянии жидкостей.

Интенсификация конвективного теплообмена при течении теплоносителя в трубах и каналах.

### **Тема 10. Теплообмен при фазовых и химических превращениях. Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при кипении жидкостей (2 ч.)**

Пленочная и капельная конденсации. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу. Теплоотдача при смешанном режиме течения пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатором пучков труб, измерение теплоотдачи по рядам, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб. Теплоотдача при капельной конденсации пара.

Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью, краевого угла. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих центров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме.

Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах.

### **Тема 11. Теплообмен излучением (2 ч.)**

Основные законы теплового излучения. Физическая природа, понятия и законы теплового излучения. Интегральный и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения.

Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой. Метод многократных отражений и метод полных потоков излучения. Классификация потоков излучения.

Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами, двумя концентрическими сферами и двумя коаксиальными цилиндрами.

Угловые коэффициенты излучения. Теоретические основы современных зональных методов расчёта теплообмена излучением. Интегральные уравнения излучения.

Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Основы методов расчёта теплообмена излучением от излучающей и поглощающей среды к поверхностям нагрева теплообменных устройств.

Закон Бугера. Поглощательная способность и степень черноты среды (продуктов сгорания). Эффективная длина луча. Расчёт теплообмена в системе типа

«газ в оболочке».

Понятие о методах расчёта сложного теплообмена (радиационно-кондуктивного и радиационно-конвективного).

Общие понятия и определения; тепловой баланс лучистого теплообмена. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами, разделёнными прозрачной средой; коэффициент облучённости; теплообмен между телами, произвольно расположенными в пространстве. Защита от излучения. Излучение газов. Теплообмен излучением в топках и камерах сгорания.

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Практические занятия (36 ч.)

**Занятие 1.** Уравнение состояния термодинамического рабочего тела. Термодинамические параметры состояния. Давление. Температура. Удельный объём. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная (4 ч.)

**Занятие 2.** Работа в термодинамических процессах и внутренняя энергия. Термодинамические газовые процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Адиабатный процесс. Изотермический процесс (2 ч.)

**Занятие 3.** Второе начало термодинамики. Вычисление энтропии. Применение второго закона термодинамики. Система координат  $T-s$  и ее свойства. Энтальпия замкнутой термодинамической системы (4 ч.)

**Занятие 4.** Термодинамические основы анализа двигателей внутреннего сгорания Цикл Отто. Цикл Дизеля. Цикл Тринклера. Расчет термического КПД циклов ДВС. (4 ч.)

**Занятие 5.** Теплопроводность в однослойной и многослойной плоской стенке при стационарном режиме (температурное поле, изотермические поверхности, градиент температуры, тепловой поток, коэффициент теплопроводности) (2 ч.)

**Занятие 6.** Теплопередача в плоской стенке. Определение коэффициента теплопередачи, плотности теплового потока и температуры поверхностей однослойной и многослойной стенок. Определение количества теплоты, переданного плоской стенкой в процессе теплопередачи (4 ч.)

**Занятие 7.** Теплопроводность и теплопередача в цилиндрической стенке. Критический диаметр цилиндрической стенки. Критический диаметр изоляции (2 ч.)

**Занятие 8.** Теплопроводность при нестационарном режиме (2 ч.)

**Занятие 9.** Обработка опытных данных методом теории подобия. (4 ч.)

**Занятие 10.** Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании цилиндра и пучка труб, с использованием интерактивного метода обсуждения в группе (4 ч.)

*Типовые вопросы для группового обсуждения:*

- ✓ Допускается ли применение безразмерных формул, соответствующих течению в круглых трубах, для расчета теплоотдачи при поперечном омывании труб?
- ✓ Одинаковы ли местные коэффициенты теплоотдачи по окружности трубы при поперечном ее омывании жидкостью?
- ✓ Возрастает ли коэффициент теплоотдачи при внешнем омывании трубы от угла атаки?
- ✓ Верно ли, что первый по ходу жидкости ряд труб в пучке имеет более высокий коэффициент теплоотдачи, чем последующие ряды?

**Занятие 11.** Теплоотдача при кипении жидкости (2 ч.)

**Занятие 12.** Теплообмен между твердыми телами, разделенными прозрачной средой, с использованием интерактивного метода обсуждения в группе (2 ч.)

*Типовые вопросы для группового обсуждения:*

- ✓ Существует ли эффективный лучистый поток в зазоре между двумя параллельными стенками, если поверхности стенок имеют одинаковую температуру?
- ✓ Может ли серое тело излучать больше энергии, чем черное тело таких же размеров и в такой же окружающей среде, если температуры серого и черного тел одинаковы?
- ✓ Может ли серое тело поглощать больше энергии, чем черное тело таких же размеров и в такой же окружающей среде, если температуры серого и черного тел одинаковы?
- ✓ Может ли серое тело поглощать больше энергии, чем черное тело, если размеры и температуры серого и черного тел одинаковы, а температура окружающих тел различна?

## **II. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- ✓ план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- ✓ характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- ✓ требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- ✓ критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Техническая термодинамика	ОПК-1	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия и законы термодинамики, а также процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов теплопередачи в технологических процессах, различных аппаратах и устройствах;</li> <li>- принципиальные особенности моделирования процессов термодинамики и теплопередачи, предназначенные для конкретных технологических процессов</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать процессы теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе</li> </ul> <p>Владет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, протекающих в конкретных технических системах</li> </ul>	<p>УО-1 (вопросы для текущей проверки 1-48)                      ПР-2                      (контрольные задачи)</p>	<p>УО-1                      Вопросы к зачету 1-18</p>

2	Теория теплообмена	ПК-12	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технику и технологию проведения проектирования технологических процессов на объектах нефтегазовой отрасли,</li> <li>- передовые достижения науки и техники в области изучения способов передачи тепла в технологических процессах, аппаратах и устройствах</li> </ul>	<p>УО-1 (вопросы для текущей проверки 49-90) ПР-1 (тестовые задания) ПР-2 (контрольные задачи)</p>	<p>УО-1 Вопросы к зачету 19-44</p>
<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать и обобщать опыт разработки технических и технологических проектов, использовать стандартные программные средства при проектировании производственных и технологических процессов в нефтегазовой отрасли;</li> <li>- самостоятельно и творчески использовать основные законы и методы термодинамики и теплопередачи</li> </ul>					
<p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками проектирования отдельных разделов технических и технологических проектов;</li> <li>- методами расчета основных процессов теплопередачи, особенностями прикладного использования теории в условиях практики</li> </ul>					

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Цветков, О. Б. Термодинамика. Тепломассообмен. Термодинамика и теплопередача. Прикладной тепломассообмен [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев, Ю. Н. Ширяев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2014. — 64 с.

<http://www.iprbookshop.ru/68191.html>

2. Ляшков В.И., Теоретические основы теплотехники [Электронный ресурс] : Учеб. пособие для вузов / В.И. Ляшков. - М. : Абрис, 2012. - 318 с.

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200513.html>

3. Теоретические основы термодинамики и теплопередачи [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Ларионов, Ю. И. Кураков, В. С. Воищев [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж : Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2015. — 200 с.

<http://www.iprbookshop.ru/72761.html>

### **Дополнительная литература**

1. Примеры и задачи по тепломассообмену [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Логинов [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 256 с.

<https://e.lanbook.com/book/93718>

2. Круглов, Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 208 с.

<https://e.lanbook.com/book/3900>

3. Синявский, Ю.В. Сборник задач по курсу "Теплотехника" [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.В. Синявский. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : ГИОРД, 2010. — 128 с.

<https://e.lanbook.com/book/4907>. — Загл. с экрана.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Сайт Национального комитета по тепломассообмену (Российская Академия Наук «Международный центр по тепло- и массообмену»)

<http://www.nchmt.ru/>

2. Сайт ТЕПЛОТА – все для ТЕПЛОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. Теплоэнергетика, теплоснабжение и теплообмен, термодинамика и теплопередача

<http://www.teplota.org.ua/>

3. Российская государственная библиотека

<http://www.rsl.ru/>

4. Государственная публичная научно-техническая библиотека России

<http://www.gpntb.ru/>

5. Научная электронная библиотека

<http://elibrary.ru/>

## Перечень информационных технологий и программного обеспечения

Программное обеспечение, доступное студентам для выполнения индивидуальных заданий, а также для организации самостоятельной работы:

Аудитория, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
Компьютерный класс кафедры Теплоэнергетики и теплотехники, Аудитория Е-559 а, Аудитория Е-559 г	– Microsoft Office Professional Plus 2016 – офисный пакет, включающий программное обеспечение для работы с различными типами документов (текстами, электронными таблицами, базами данных и др.); – 7Zip 9.20 - свободный файловый архиватор с высокой степенью сжатия данных; – Adobe Acrobat XI Pro – пакет программ для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF; – AutoCAD 2017 - трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения; – WaterSteamPro – свойства воды и водяного пара; – WinDjView 2 – пакет программ для создания и просмотра электронных публикаций в формате DJVU; – КОМПАС-3D V16 x64 трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения; – ПК «Консультант Плюс» - офисный пакет нормативных документов; – ПК «ИС Техэксперт 6.0» - офисный пакет нормативных технических документов; – «BoilerDesigner 9.8.2.0» - пакет прикладных программ для решения задач теплоэнергетики.

При чтении лекционного курса используется компьютерная техника для демонстрации слайдов с помощью программного приложения:

- ✓ Microsoft Office Professional Plus 2016,
- ✓ Adobe Acrobat XI Pro,
- ✓ WinDjView 2.

Для рассылки учебных материалов и другой информации используется электронная почта Microsoft Outlook, доступная в личном кабинете ДВФУ.



## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для успешного освоения дисциплины "Термодинамика и теплопередача" студенту необходимо тщательно изучить теоретический материал прослушанный в лекционном курсе на аудиторных занятиях, после чего ознакомиться с теоретическим материалом в учебниках и учебных пособиях, а также желательно познакомиться с публикациями в периодических изданиях.

Затраты времени на освоение теоретического курса зависят от того, как активно студент работал в аудитории, слушая лекции и изучая материал на лабораторных работах. Непонятные вопросы должны быть проработаны на консультациях. В случае пропуска занятий студенту потребуется сверхнормативное время на освоение пропущенного материала. Для закрепления материала лекций достаточно, перелистывая конспект или читая его, мысленно восстановить прослушанный материал. Для закрепления материала курса необходимо проработать вопросы для самопроверки после каждого пройденного раздела дисциплины. Перечень вопросов к каждому разделу приведен в Приложении 2.

### **Методические рекомендации к выполнению практических занятий**

Для подготовки к практическим занятиям необходимо проработать материал предыдущих занятий, обращаясь при необходимости к рекомендуемой учебной литературе. К решению задач контрольного задания следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса.

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие правила:

- а) выписывать условие задачи и исходные данные;
- б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указывать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (из условия, из справочника или были определены выше и т.д.);
- в) вычисления проводить в единицах СИ, показывать ход решения;

г) постановки задач и основные результаты решения сопровождать графическими иллюстрациями.

После решения задачи нужно дать краткий анализ полученных результатов и сделать выводы. Всегда нужно осуществлять контроль своих действий и оценивать достоверность полученных численных данных.

### **Методические рекомендации по подготовке к зачету**

Подготовка к зачету осуществляется на основе лекционного материала, материала практических занятий с обязательным обращением к основным учебникам курса. Это исключает ошибки в понимании материала, облегчает его осмысление, а также прокомментарирует материал примерами и иллюстрациями, которые в лекциях не приводились. Обязательным условием допуска к экзамену является выполнение контрольных работ и наличие содержательного конспекта лекций.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Освоение дисциплины «Термодинамика и теплопередача» предполагает использование мультимедийных учебных аудиторий вместимостью более 30 человек, оснащенных современными техническими средствами и доступом в сеть Интернет. Для самостоятельной работы студентам доступны компьютерные классы и читальные залы научной библиотеки ДВФУ.

<b>Наименование оборудованных помещений</b>	<b>Перечень основного оборудования</b>
Компьютерный класс Аудитория Е 559 г	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty
Компьютерный класс Аудитория Е 559 а	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty
Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду (корпус А - уровень 10)	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек. Рабочие места для людей с ограниченными

	<p>возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеоувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками</p>
<p>Мультимедийная аудитории Е-933, Е-934, Е-433</p>	<p>проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; беспроводные ЛВС обеспечены системой на базе точек доступа 802.11a/b/g/n 2x2 MIMO(2SS)</p>



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»**

Направление подготовки: 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и про-  
дуктов переработки», «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта»

**Форма подготовки: очная**

**Владивосток  
2019**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение, час	Форма контроля
1	1-8 неделя семестра	проработать конспект лекций и учебную литературу по разделу 1 Техническая термодинамика	15	УО-1
		ответить на вопросы для самопроверки	3	УО-1
		решить задачи	17	ПР-2
		подготовка к контрольной работе	5	ПР-2
2	9-18 неделя семестра	проработать конспект лекций и учебную литературу по разделу 2 Теория теплообмена	20	УО-1
		ответить на вопросы для самопроверки	5	УО-1, ПР-1
		решить задачи	15	ПР-2
		подготовка к контрольной работе	5	ПР-2
		подготовка к выполнению тестовых заданий	5	ПР-1

Организация самостоятельной работы производится в соответствии с графиком учебного процесса и план-графиком выполнения самостоятельной работы. Самостоятельная работа студентов по курсу «Термодинамика и теплопередача» предназначена для внеаудиторной работы и необходима для закрепления и углубления знаний, полученных на аудиторных занятиях, по изучению дополнительных разделов дисциплины, закреплению практических навыков дисциплины, а также для развития у студентов творческих навыков, инициативы, умения организовать свое время.

Самостоятельная работа включает проработку теоретического курса, оценку собственных знаний при помощи вопросов для собеседования (Приложение 2), а также включает в себя контрольные задания, состоящие из ответов на вопросы и решения задач.

## Характеристика контрольного задания и требования к выполнению

Контрольные задания содержат вопросы по разделу дисциплины и задачи для решения (см. Приложение 2)

При выполнении контрольного задания необходимо соблюдать следующее:

1. Условия задачи и формулировки контрольных вопросов в работе переписываются полностью.

2. Решение задачи сопровождается кратким пояснительным текстом, где необходимо указать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в эту формулу, откуда они взяты (из условия задачи, из литературного источника, с точным его указанием, с последующим уточнением, определены ранее).

3. Вычисления давать в развернутом виде.

4. Необходимо указать размерности величин, заданных в условии задач, а также найденных в результате решения задач.

5. При решении задач и в ответах на вопросы следует придерживаться принятой в учебнике системы обозначений, терминов и Международной системы единиц (СИ).

6. Вычисления производить с необходимой и достаточной для каждого случая степенью точности, не выходящей за пределы точности расчетных и справочных таблиц.

В заключение решения задач необходимо сделать краткий анализ полученных результатов с необходимыми выводами. Ниже приведены типовые задачи с рекомендациями к выполнению.

### Примеры типовых задач с рекомендациями к выполнению

**Задача 1.** По трубопроводу с внешним диаметром  $d_n$  и толщиной стенки  $\delta$  течет газ со средней температурой  $t_r$ . Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке  $\alpha_1$ . Снаружи трубопровод охлаждается водой со средней температурой  $t_B$ . Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде  $\alpha_2$ .

Определить коэффициент теплопередачи от газа к воде, погонный тепловой поток и температуры внутренней и наружной поверхностей трубы. Данные для решения задачи выбрать из таблицы 1.

*Рекомендации:*

- *Тепловой режим считать стационарным. Решение задачи базируется на теме «Теплопередача через цилиндрическую стенку».*
- *Лучистым теплообменом пренебречь.*

Таблица 1.

Но- мер вари- анта	$t_r, ^\circ\text{C}$	$d_n, \text{мм}$	$\delta, \text{мм}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
1	700	100	4	60	60	4000
2	800	110	5	70	54	4200
3	900	120	6	80	52	4400
4	1000	130	7	90	50	4600
5	1100	140	8	100	44	4800
6	1200	150	9	110	42	5000
7	1100	160	10	120	40	5200
8	1000	170	9	130	36	5400
9	900	180	8	140	32	5600
10	800	190	7	150	30	5800

**Задача 2.** Определить потери теплоты в единицу времени с одного погонного метра горизонтально расположенной цилиндрической трубы диаметром  $d$  в окружающую среду, если температура стенки трубы  $t_c$ , а температура воздуха  $t_B$ . Данные для решения приведены в таблице 2.

*Рекомендации:*

- *Коэффициент теплоотдачи определять из критериальных уравнений теплоотдачи при поперечном обтекании. Особое внимание обратить на вид конвекции, режим течения и определяющую температуру. Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре.*
- *Лучистым теплообменом пренебречь.*

Таблица 2.

Номер вари- анта	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$d_n, \text{мм}$	Вид конвекции
1	250	15	250	свободная
2	240	20	260	вынужденная (1 м/с)
3	230	25	270	смешанная (0,1 м/с)
4	220	30	280	свободная

5	210	25	290	вынужденная (3 м/с)
6	200	10	300	смешанная (0,05 м/с)
7	190	5	310	свободная
8	180	0	320	вынужденная (5 м/с)
9	170	-10	330	вынужденная (10 м/с)
10	160	-20	340	вынужденная (15 м/с)

**Задача 3.** Определить плотность лучистого теплового потока между двумя параллельно расположенными плоскими стенками, имеющими температуру  $t_1$  и  $t_2$  и степени черноты  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Как изменится интенсивность теплообмена при установке экрана со степенью черноты  $\varepsilon_3$ .

*Рекомендации:*

- Условия теплообмена считать стационарными. Теплопроводностью и конвективным теплообменом в зазоре между пластинами пренебречь.
- В качестве экрана взять тонкий металлический лист.

Таблица 3.

Номер варианта	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$
1	0,50	0,42	0,060	200	15
2	0,55	0,44	0,055	250	20
3	0,60	0,46	0,050	300	25
4	0,65	0,48	0,045	350	30
5	0,70	0,50	0,040	400	35
6	0,75	0,52	0,035	450	40
7	0,80	0,54	0,030	500	45
8	0,85	0,56	0,025	550	50
9	0,90	0,58	0,020	600	55
10	0,95	0,60	0,015	650	60

### Критерии оценки (письменный ответ)

✓ 100-86 баллов - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего материала по проверяемому разделу курса и конкретного вопроса. Студент демонстрирует свободное владение научным языком и терминологией соответствующего раздела дисциплины, знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой, убедительно излагает ответ.



✓ 85-76 - баллов - знание основного содержания проверяемого раздела курса, умение анализировать основные проблемы в рамках раздела дисциплины; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

✓ 75-61 - балл – поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания раздела лекционного курса; затруднения с использованием терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

✓ 60-50 баллов – незнание, либо отрывочное представление о предмете курса в рамках учебно-программного материала; отсутствие логической связи в ответе.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»**

Направление подготовки: 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки», «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта»

**Форма подготовки: очная**

**Владивосток**  
**2019**

## Паспорт ФОС

по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ОПК-1. Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания</p>	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия и законы термодинамики, а также процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов теплопередачи в технологических процессах, различных аппаратах и устройствах;</li> <li>- принципиальные особенности моделирования процессов термодинамики и теплопередачи, предназначенные для конкретных технологических процессов</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать процессы теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, протекающих в конкретных технических системах</li> </ul>
<p>ПК-12 Способность выполнять работы по проектированию технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности</p>	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>- технику и технологию проведения проектирования технологических процессов на объектах нефтегазовой отрасли,</li> <li>- передовые достижения науки и техники в области изучения способов передачи тепла в технологических процессах, аппаратах и устройствах</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать и обобщать опыт разработки технических и технологических проектов, использовать стандартные программные средства при проектировании производственных и технологических процессов в нефтегазовой отрасли;</li> <li>- самостоятельно и творчески использовать основные законы и методы термодинамики и теплопередачи</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- владеет навыками проектирования отдельных разделов технических и технологических проектов;</li> <li>- методами расчета основных процессов теплопередачи, особенностями прикладного использования теории в условиях практики</li> </ul>

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Техническая термодинамика	ОПК-1	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия и законы термодинамики, а также процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов теплопередачи в технологических процессах, различных аппаратах и устройствах;</li> <li>- принципиальные особенности моделирования процессов термодинамики и теплопередачи, предназначенные для конкретных технологических процессов</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать процессы теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе</li> </ul> <p>Владет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, протекающих в конкретных технических системах</li> </ul>	УО-1 (вопросы для текущей проверки 1-48) ПР-2 (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к зачету 1-18
2	Теория теплообмена	ПК-1	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технику и технологию проведения проектирования технологических процессов на объектах нефтегазовой отрасли,</li> </ul>	УО-1 (вопросы для текущей проверки 49-90) ПР-1 (тестовые)	УО-1 Вопросы к зачету 19-44

			<p>- передовые достижения науки и техники в области изучения способов передачи тепла в технологических процессах, аппаратах и устройствах</p> <p>Умеет:</p> <p>- анализировать и обобщать опыт разработки технических и технологических проектов, использовать стандартные программные средства при проектировании производственных и технологических процессов в нефтегазовой отрасли;</p> <p>- самостоятельно и творчески использовать основные законы и методы термодинамики и теплопередачи</p> <p>Владеет:</p> <p>- навыками проектирования отдельных разделов технических и технологических проектов;</p> <p>- методами расчета основных процессов теплопередачи, особенностями прикладного использования теории в условиях практики</p>	<p>задания),</p> <p>ПР-2</p> <p>(контрольные задачи)</p>	
--	--	--	--	--	--

## Вопросы для текущего контроля по отдельным разделам дисциплины (УО-1)

### Раздел 1. Техническая термодинамика

1. Термодинамическое рабочее тело.
2. Аналитическое выражение первого закона термодинамики.
3. Вычисление энтропии.
4. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (давление).
5. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .
6. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (температура).
7. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (удельный объем)
8. Энтальпия- функция состояния.
9. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная
- 10.Изохорный процесс.
- 11.Изобарный процесс.
- 12.Изотермический процесс.
- 13.Адиабатный процесс.
- 14.Политропный процесс.
- 15.Смеси газов, заданные объемным составом.

16. Вычисление теплоемкости в политропном процессе.
17. Круговые процессы или циклы.
18. Реальные газы.
19. Прямой цикл.
20. Истинная или мгновенная теплоемкость. Изменение теплоемкости от 0 до бесконечности.
21. Теплоемкость в изохорных и изобарных процессах.
22. Определение энтропии в изохорном процессе.
23. Вычисление теплоемкости.
24. Определение энтропии в изобарном процессе.
25. Вычисление теплоты.
26. Определение энтропии в изотермическом процессе.
27. Вычисление теплоты и теплоемкости для смеси газов.
28. Свойства влажного воздуха.
29. Работа.
30. Определение энтальпии влажного воздуха
31. Внутренняя энергия.
32. Энтропия – функция состояния.
33. Вычисление внутренней энергии.
34. Изменение тепловлажностного состояния влажного воздуха.
35. Процесс нагрева и охлаждения воздуха в  $I-d$  диаграмме.
36. Прямой цикл Карно и его анализ.
37. Обратный цикл Карно и его анализ.
38. Формулировки и содержание второго начала термодинамики.
39. Аналитическое выражение второго начала термодинамики.
40. Вычисление энтропии идеального газа.
41. Понятие об обратимых и необратимых процессах.
42. Первое и второе начала термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
43. Энтропия замкнутой термодинамической системы.
44. Статистическое выражение второго начала.
45. Границы применимости первого и второго начала термодинамики.
46. Диаграмма  $T-S$  и ее свойства.
47. Процессы в координатах  $T-S$ .
48. Цикл Карно в координатах  $T-S$ .

## **Раздел 2. Теория теплообмена**

49. Какова физическая сущность передачи теплоты при теплопроводности?
50. С помощью чего осуществляется теплообмен при конвекции?
51. С помощью чего осуществляется лучистый теплообмен?
52. Что такое температурное поле?
53. Что такое температурный градиент?
54. Как записывается уравнение Фурье?
55. Что такое тепловой поток и плотность теплового потока?

56. Как определяется температурный напор?
57. Что такое коэффициент теплопроводности, в каких единицах он измеряется?
58. Что такое условия однозначности, как они подразделяются?
59. По какому закону изменяется температура в однослойной плоской стенке?
60. От каких величин зависит тепловой поток, передаваемый теплопроводностью через однослойную плоскую стенку?
61. Объясните понятие «термическое сопротивление стенки».
62. От каких величин зависит теплопроводность однослойной цилиндрической стенки?
63. Что такое сложный теплообмен?
64. Что называется теплопередачей? Приведите примеры теплопередачи.
65. Выведите основное уравнение теплопередачи для однослойной плоской стенки.
66. Что называется коэффициентом теплопередачи?
67. Что называется полным термическим сопротивлением, и из каких величин оно складывается?
68. Передача теплоты через многослойную плоскую стенку и коэффициент теплопередачи для нее.
69. Передача теплоты через однослойную цилиндрическую стенку: вывод уравнения.
70. Тепловой поток и коэффициент теплопередачи через многослойную цилиндрическую стенку.
71. Что называется критическим диаметром изоляции, и как он определяется?
72. Какие требуются условия, чтобы изоляция уменьшала потери теплоты?
73. Какое существует общее правило для интенсификации теплопередачи?
74. Объясните общие закономерности нестационарных процессов.
75. Что называется конвективным теплообменом?
76. Что такое теплоноситель? Какие теплоносители используются в технике для процессов тепломассообмена?
77. Какие физические свойства теплоносителей влияют на теплообмен?
78. Что называют теплоотдачей?
79. Каков физический смысл и единицы измерения коэффициента теплоотдачи?
80. Запишите уравнение Ньютона-Рихмана и объясните все входящие в него величины.
81. Что такое теория подобия и для чего она предназначена?
82. Как с помощью критериального уравнения конвективного теплообмена определить коэффициент теплоотдачи?
83. Каковы основные особенности лучистого теплообмена?
84. Какие тела называются абсолютно черным, абсолютно белым и абсолютно прозрачным?
85. Как определяется поверхностная плотность потока интегрального из-

- лучения?
86. В чем сущность законов Планка и Вина?
  87. Каково практическое применение закона Вина?
  88. В чем сущность закона Стефана – Больцмана?
  89. В чем сущность закона Кирхгофа?
  90. Закон Ламберта. Для каких тел он применим?

### **Перечень типовых вопросов для зачета (УО-1)**

1. Рабочее тело. Основные параметры состояния рабочего тела, их единицы измерения.
2. Уравнение состояния идеального газа.
3. Основные законы идеальных газов
4. Теплоемкость (удельная, массовая, объемная, молярная).
5. Истинная и средняя теплоемкости.
6. Изобарная и изохорная теплоемкости, уравнение Майера.
7. Теплоемкость смеси газов.
8. Работа расширения рабочего тела в координатах  $p-v$ .
9. Сущность I-го закона термодинамики.
10. Энтальпия газа.
11. Энтропия.
12. Тепловая TS-диаграмма.
13. Процессы изменения состояния идеальных газов в  $p-v$  координатах.
14. Процессы изменения состояния идеальных газов в  $T-s$  координатах.
15. Сущность и формулировки II-го закона термодинамики. Аналитическая запись II-го закона термодинамики..
16. Понятие реального газа, особенности внутренней энергии реальных газов.
17. Понятие реального газа, сжимаемость реальных газов.
18. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
19. Способы теплопереноса (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение).
20. Понятие температурного поля (одномерное, двухмерное, трехмерное).
21. Понятие изотермических поверхностей и температурного градиента.
22. Закон Фурье.
23. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей, твердых тел.
24. Коэффициент температуропроводности.
25. Условия однозначности для процессов теплопроводности.
26. Граничные условия 1-го, 2-го, 3-го рода.
27. Закон Ньютона-Рихмана.
28. Коэффициент теплоотдачи
29. Теплопроводность однослойной плоской стенки при стационарном режиме.
30. Теплопроводность многослойной плоской стенки при стационарном режиме.



31. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.
32. Теплопередача через однослойную плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи.
33. Теплопередача через многослойную плоскую стенку. Понятие термического сопротивления для многослойной плоской стенки.
34. Теплопроводность цилиндрической однослойной стенки.
35. Теплопроводность цилиндрической многослойной стенки.
36. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
37. Критический диаметр тепловой изоляции.
38. Теплообмен излучением, основные понятия.
39. Закон Стефана-Больцмана.
40. Закон Ламберта.
41. Закон Кирхгофа.
42. Закон Планка.
43. Закон Вина.
44. Различные случаи теплообмена излучением (между двумя параллельными стенками; между двумя телами, из которых одно находится внутри другого)

**Примеры типовых контрольных работ для текущего контроля  
по разделу I. Техническая термодинамика (ПР-2)**

Письменно решить следующие задачи:

**Контрольная работа №1 вариант 1**

- 1) Определить массовый состав газовой смеси, состоящей из углекислого газа и азота, если известно, что парциальное давление углекислого газа  $p_{CO_2} = 2.8$  бар, а давление смеси  $p_{см} = 6$  бар.
- 2) Воздух в количестве 5 м<sup>3</sup> при давлении  $P=3$  бар и температуре  $t_1=250$  С нагревается при постоянном давлении до  $t_2=1400$  С. Определить количество подведенного к воздуху тепла, считая  $C_P = const$ .
- 3) В помещении объёмом  $V = 28$  м<sup>3</sup> находится воздух при давлении  $P_1 = 740$  мм.рт.ст. и температуре  $t_1 = 10$  °С. При подводе тепла давление возросло до  $P_2 = 1,35$  бар. Определить количество подведенного тепла.

Письменно решить следующие задачи:

**Контрольная работа №2 вариант 1**

- 1) Определить потерю теплоты  $Q$ , Вт, через стенку из красного кирпича длиной  $l = 5$ м, высотой  $h = 4$ м и толщиной  $\delta = 0,250$ м, если температуры на поверхностях стенки поддерживаются  $t_{c1}=1100$ С и  $t_{c2}=400$ С. Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda=0,70$ Вт/(м 0С).

2) Паропровод диаметром 170/160 мм покрыт двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя  $d_2=30$ мм и второго  $d_3=50$ мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны:  $\lambda_1=50$ ,  $\lambda_2=0,15$  и  $\lambda_3=0,08$  Вт/(м·°С). Температура внутренней поверхности паропровода  $t_1=300$ °С и внешней поверхности изоляции  $t_4=500$ °С. Определить тепловые потери метра длины трубопровода.

### Перечень задач для выполнения контрольных заданий для текущего контроля по разделу II. Теория теплообмена (ПР-2)

1. Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена: а) из стали,  $\lambda=40$ Вт/(м·°С); б) из бетона,  $\lambda=1,1$ Вт/(м·°С); в) из диатомитового кирпича,  $\lambda=0,11$ Вт/(м·°С). Во всех трёх случаях толщина стенки  $\delta=50$ мм. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными:  $t_{c1}=100$ °С и  $t_{c2}=90$ °С.
2. Определить потерю теплоты  $Q$ , Вт, через стенку из красного кирпича длиной  $l=5$ м, высотой  $h=4$ м и толщиной  $\delta=0,250$ м, если температуры на поверхностях стенки поддерживаются  $t_{c1}=110$ °С и  $t_{c2}=40$ °С. Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda=0,70$ Вт/(м·°С).
3. Определить потери тепла через кирпичную стенку длиной 5м, высотой 3м и толщиной 250мм, если на поверхностях стенки поддерживаются температуры  $t_1=20$ °С и  $t_2=-30$ °С. Коэффициент теплопроводности кирпича  $\lambda=0,6$ Вт/(м·°С).
4. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при толщине ее  $\delta=40$ мм и разности температур на поверхностях  $\Delta t=20$ °С; плотность теплового потока  $q=145$  Вт/м<sup>2</sup>.
5. Определить тепловой поток  $q$  через плоскую шамотную стенку толщиной  $\delta=0,5$ м и найти действительное распределение температуры, если  $t_1=1000$ °С и  $t_2=0$ °С и  $\lambda=1,0(1+0,001t)$  Вт/(м·°С).
6. Определить поток тепла, проходящий через 1 м<sup>2</sup> стенки котла и температуру внутренней поверхности железного листа (под накипью), если толщина стенки  $\delta_1=20$ мм, коэффициент теплопроводности материала  $\lambda_1=50$  Вт/(м·°С) и с внутренней стороны стенка покрыта слоем котельной накипи толщиной  $\delta_2=2$ мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2=1,0$  Вт/(м·°С). Температура наружной поверхности  $t_1=250$ °С и внутренней  $t_3=200$ °С.
7. Определить значение эквивалентного коэффициента теплопроводности пакета листового трансформаторного железа из  $n$  листов, если толщина каждого листа  $\delta_1=0,5$ мм и между ними проложена бумага толщиной  $\delta_2=0,05$ мм. Коэффициент теплопроводности железа  $\lambda_1=60$ Вт/(м·°С) и бумаги  $\lambda_2=0,15$ Вт/(м·°С).
8. Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной  $\delta=50$ мм,  $q=70$ Вт/м<sup>2</sup>. Определить разность температур на поверхностях стенки и численные значения градиента температуры в стенке, если она выполнена: а) из латуни,  $\lambda=70$ Вт/(м·°С), б) из красного кирпича,  $\lambda=0,7$ Вт/(м·°С), в) из пробки,  $\lambda=0,07$ Вт/(м·°С).

**9.** Стальная стенка котла толщиной 20мм покрыта слоем накипи 2мм. Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda_1=58\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , накипи  $\lambda_n=1,05\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура чистой поверхности стенки котла равна  $310^\circ\text{C}$ , а поверхности накипи  $105^\circ\text{C}$ . Вычислить удельный тепловой поток через стенку и температуру в плоскости касания металла.

**10.** Вычислить потерю тепла через единицу поверхности обмуровки парового котла в зоне размещения водяного экономайзера и температуры поверхности стенки, если ее толщина 250мм, температура газов  $700^\circ\text{C}$ , а температура воздуха в котельной  $30^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности стенки составляет  $20\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$  и от стенки к воздуху  $10\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Коэффициент теплопроводности стенки  $0,6\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

**11.** Паропровод диаметром 170/160 мм покрыт двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя  $\delta_2=30\text{мм}$  и второго  $\delta_3=50\text{мм}$ . Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны:  $\lambda_1=50$ ,  $\lambda_2=0,15$  и  $\lambda_3=0,08\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура внутренней поверхности паропровода  $t_1=300^\circ\text{C}$  и внешней поверхности изоляции  $t_4=50^\circ\text{C}$ . Определить тепловые потери метра длины трубопровода.

**12.** Трубу внешним диаметром  $d=20\text{мм}$  необходимо покрыть тепловой изоляцией. В качестве изоляции может быть взят асбест с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,1\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ , коэффициент теплоотдачи во внешнюю среду  $\alpha_2=5\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ . Целесообразно ли в данном случае использовать асбест в качестве материала для тепловой изоляции?

**13.** Определить тепловой поток через 1м паропровода с внутренним диаметром 140мм и толщиной стенки 5мм, изолированного двумя слоями изоляции  $\delta=25\text{мм}$ ,  $\delta=50\text{мм}$ . Коэффициенты теплопроводности соответственно равны:  $\lambda_1=50\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\lambda_2 = 0,035\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\lambda_3 = 0,11\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура на внутренней поверхности трубопровода  $t_1=250^\circ\text{C}$ , на наружной поверхности изоляции  $t_4=50^\circ\text{C}$ . Как изменятся тепловые потери, если слои изоляции поменять местами?

**14.** Вычислить потерю тепла с 1 п.м. неизолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2 = 150/165\text{мм}$ , проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $90^\circ\text{C}$ , а температура окружающего воздуха –  $15^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda=50\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $1000\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$  и от трубы к окружающему воздуху  $12\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Определить температуры на внутренней и внешней поверхности трубы.

**15.** Найти толщину изоляции из материала с коэффициентом теплопроводности  $0,18\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$  при условии, чтобы потери тепла не превышали 0,5% от общего теплового потока. Паропровод имеет диаметр 100мм, длину 100м, расход пара составляет 0,3 кг/сек, температура окружающего воздуха  $25^\circ\text{C}$ , теплота конденсации  $1945\text{кДж}/\text{кг}$ ,  $t_n=200^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_1 = 5000\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\alpha_2 = 10\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ .

**16.** Определить толщину обмуровки котла, если температура газов  $800^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ , эквивалентный коэффициент теплопроводности обмуровки  $0,8\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке и от

стенки к окружающей среде соответственно равны 60 и 15 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Температура наружной поверхности обмуровки не должна превышать 55°С.

**17.** Плотность теплового потока через плоскую стенку бака при температуре газов 1100°С и температуре воды 180°С составляет 50 000 Вт/м<sup>2</sup>. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды 5000 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Определить коэффициент теплоотдачи со стороны газов, коэффициент теплопередачи и температуры поверхностей бака, если ее толщина 12мм, коэффициент теплопроводности металла 56 Вт/(м·°С).

**18.** Определить потерю теплоты с поверхности 1м неизолированного трубопровода, если его внутренний диаметр 76мм, толщина стенки 3мм, коэффициент ее теплопроводности 50 Вт/(м·°С). Температура воды 95°С, наружная температура 15°С. Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы 5000Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и от трубы к воздуху 15 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Во сколько раз уменьшатся потери тепла, если трубопровод изолировать слоем совелита толщиной 15мм. Коэффициент теплопроводности совелита 0,0975 Вт/(м·°С).

**19.** Определить температуру на внутренней поверхности паропровода диаметром 200мм, изолированного слоем изоляции толщиной 100мм с коэффициентом теплопроводности 0,11 Вт/(м·°С). Толщина стенки паропровода 16мм. Температура пара 250°С и наружного воздуха 30°С. Коэффициенты теплоотдачи со стороны пара и воздуха соответственно равны 100Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и 9Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Термическим сопротивлением стенки трубы пренебречь.

**20.** По стальному трубопроводу с внутренним диаметром 60мм и толщиной стенки 3мм протекает рассол с температурой – 22°С. Коэффициент теплоотдачи от рассола к трубе 1750Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и от трубы к воздуху 17Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Определить температуру в помещении и потерю холода через поверхность 1м трубопровода, если температура его наружной поверхности  $t_{ст2} = -21,5^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности стали 48 Вт/(м·°С).

**21.** Вычислить время нагрева пластины толщиной  $2\delta=14$  мм, которая имела температуру  $t_0=30^{\circ}\text{C}$ , а затем была помещена в печь с температурой  $t=140^{\circ}\text{C}$ . Нагрев закончен после того, как температура центра пластины достигла величины  $t_{ц}=130^{\circ}\text{C}$ .  $\lambda=0,15$  Вт/(м·°С),  $a=30\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $\alpha=5000$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

**22.** Неограниченные пластины толщиной  $2\delta_1=20$ мм и  $2\delta_2=200$ мм имеют одинаковую начальную температуру. Пластина нагревается в среде с температурой 20°С. Первая пластина выполнена из резины ( $\lambda_1=0,16$ Вт/(м·°С),  $c_1=1,4$ кДж/(кг·°С),  $\rho_1=1200$  кг/м<sup>3</sup>); вторая из мрамора ( $\lambda_2=3,2$  Вт/(м·°С),  $c_2=1$ кДж/(кг·°С),  $\rho_2=2600$  кг/м<sup>3</sup>). В первом случае коэффициент теплоотдачи равен  $\alpha_1=10$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), во втором  $\alpha_2=20$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Определить время, по истечение которого, температура в центре пластин будет равна 60°С.

**23.** Стальной слиток, имеющий форму параллелепипеда с размерами 100 х 200 х 300 мм имел начальную температуру  $t_0=20^{\circ}\text{C}$ , затем был помещен в печь с температурой 1500°С. Определить температуру в центре слитка через  $\tau=1,5$  часа после загрузки его в печь. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали соответственно равны  $\lambda=37,2$  Вт/(м·°С),  $a=6,94\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, а коэффициент теплоотдачи на поверхности слитка  $\alpha=165$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

- 24.** Бетонная колонна охлаждается в воздухе, имеющем температуру  $t_0 = -20^\circ\text{C}$ . Начальная температура бетонной колонны  $30^\circ\text{C}$ . Радиус колонны  $r = 0,4\text{ м}$ . Физические параметры бетона:  $\lambda = 0,87\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\rho = 2100\text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $c = 0,88\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Коэффициент теплоотдачи от колонны к воздуху  $\alpha = 8\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Определить температуры поверхности колонны и ее середины через 6 и 12 часов после начала охлаждения.
- 25.** Длинный стальной вал диаметром 150 мм помещен в печь с температурой  $870^\circ\text{C}$ . Начальная температура вала  $30^\circ\text{C}$ . Нагрев закончен после того, как температура на поверхности вала достигла  $840^\circ\text{C}$ .  $\lambda = 40\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $a = 6,9\cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\alpha = 16\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Найти время нахождения вала в печи и температуру в центре вала.
- 26.** Кирпичная стена толщиной 0,5 м равномерно с обеих сторон охлаждается воздухом. Коэффициент теплоотдачи от стены к воздуху  $\alpha = 9\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Физические параметры кирпичной кладки:  $\lambda = 0,75\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\rho = 1700\text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $c = 0,85\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ . Начальная температура стены  $30^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха  $8^\circ\text{C}$ . Определить температуры поверхностей через 6, 12 и 24 часа после начала охлаждения.
- 27.** Стальная болванка цилиндрической формы диаметром  $d = 80\text{ мм}$  и длиной  $l = 160\text{ мм}$  в начальный момент времени имела температуру  $800^\circ\text{C}$ . Болванка охлаждается на воздухе, который имеет температуру  $30^\circ\text{C}$ . Определить температуру в центре болванки через  $\tau = 30\text{ мин}$ . после начала охлаждения. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности соответственно равны:  $\lambda = 23,3\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $a = 6,11\cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$ . Коэффициент теплоотдачи от поверхности болванки  $\alpha = 118\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ .
- 28.** Определить коэффициент теплоотдачи в условиях малого числа Био от поверхности цилиндрического калориметра, геометрические размеры которого равны:  $H = 0,066\text{ м}$ ,  $R = 0,022\text{ м}$ . Удельная теплоемкость стали, из которой выполнен калориметр составляет  $0,44\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ , а темп охлаждения  $2,5\cdot 10^{-4}\text{ сек}^{-1}$ .
- 29.** Цилиндр из льда диаметром 5 см, охлаждается до температуры  $-10^\circ\text{C}$ , помещается в камеру с температурой  $5^\circ\text{C}$ . Через сколько времени он начнет таять, если коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 8\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\lambda$  льда  $= 1,9\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ ,  $a = 3,9\cdot 10^{-3}\text{ м}^2/\text{с}$ .
- 30.** Образец из влажной глины выполнен в виде цилиндра  $d = 48\text{ мм}$  и  $l = 70\text{ мм}$ . Найти коэффициент температуропроводности и коэффициент неравномерности  $\Psi$ , если  $c_p = 1,25\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\rho = 2019\text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\alpha_\infty = 1500\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Образец охлаждается в среде с постоянной температурой  $-20^\circ\text{C}$ . Темп охлаждения  $m = 25,1\text{ 1}/\text{час}$ .
- 31.** Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным неизолированным паропроводом диаметром  $d = 100\text{ мм}$  и высотой 3 м, если температура воздуха  $30^\circ\text{C}$ , а температура наружной стенки  $170^\circ\text{C}$ .
- 32.** Определить средний коэффициент теплоотдачи в поперечном потоке воды для трубки  $d = 20\text{ мм}$ , если температура воды  $t_{\text{ж}} = 20^\circ\text{C}$ , температура степени  $40^\circ\text{C}$ , скорость -  $0,5\text{ м}/\text{с}$ .

33. Коэффициент теплоотдачи пятого ряда шахматного пучка равен  $60 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , поверхность теплообмена в каждом ряду одна и та же. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи пучка, если в пучке вместо пяти установить 15 рядов?

34. Определить потерю теплоты в окружающую среду конвективным теплообменом от горизонтального неизолированного паропровода диаметром 100 мм и длиной 25 м с температурой наружной поверхности  $115^\circ\text{С}$ , если температура воздуха  $15^\circ\text{С}$ . Как изменится потеря теплоты трубопроводом, если его температуру снизить до  $80^\circ\text{С}$ , заменив пар водой?

35. По трубопроводу с внутренним диаметром 50 мм протекает вода со скоростью 0,8 м/с при средней температуре  $50^\circ\text{С}$ . Температура стенки трубы  $65^\circ\text{С}$ . Определить потерю теплоты с поверхности 1 м трубы.

36. В трубе (образце) движется водяной пар давлением 6 бар и температурой  $250^\circ\text{С}$ , скорость движения пара 25 м/с. Чему должна быть равна скорость воды в гидродинамической модели, размеры которой составляют 1/10 от размеров образца? Температура воды  $20^\circ\text{С}$ .

37. На воздушной модели парового котла, выполненной в масштабе 1/8 натуральной величины, производилось изучение теплоотдачи конвекцией. Для первого газохода модели при различных скоростях воздуха были получены следующие значения коэффициента теплоотдачи:

$V_m, \text{ м/с}$ .....	2,0	3,14	4,65	8,8
$\alpha_m, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ .....	50,4	68,6	90,6	141

Средняя температура воздуха, проходящего через модель,  $t_{ж.м.} = 20^\circ\text{С}$ . При  $t_{ж.м.} = 20^\circ\text{С}$  для воздуха  $\lambda_{ж.} = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$  и  $\nu_{ж.} = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Диаметр трубок модели  $d_m = 12,5 \text{ мм}$ . Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_m$  при обработке опытных данных был отнесен к средней арифметической разности температур между жидкостью и стенкой.

На основе данных, полученных на модели, найти формулу для расчета теплоотдачи конвекцией в первом газоходу котла в виде зависимости  $Nu = f(Re)$ .

38. Определить коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося сухого насыщенного водного пара к вертикальной трубе высотой 1 м, если температура ее поверхности  $100^\circ\text{С}$ , а давление насыщенного пара  $p = 1,5 \text{ бар}$ .

39. Определить количество сухого насыщенного пара, которое сконденсируется за 6 часов на горизонтальной трубке диаметром 3 м, если температура поверхности  $21^\circ\text{С}$ , а давление пара 0,05 бар.

40. Найти коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося сухого насыщенного водяного пара к вертикальной трубе высотой 1,2 м, если температура ее поверхности  $101^\circ\text{С}$ , а давление пара  $p = 2,5 \text{ бар}$ .

## Перечень типовых вариантов тестовых заданий для текущего тестирования по разделу II. Теория теплообмена (ПР-1)

### Вариант 1

1. В каких телах возможна теплопроводность в чистом виде?

а) в твердых

б) жидких

*в) газообразных*

2. Дать понятие температурного поля.

---

3. Граничными условиями первого рода задается:

*а) значение теплового потока для каждой точки поверхности*

*б) закон теплообмена между поверхностью и окружающей средой*

*в) распределение температуры по поверхности тела*

4. Дать понятие теплового потока.

---

5. От чего зависит коэффициент теплоотдачи?

*а) коэффициента объемного расширения  $\beta$*

*б) теплоемкости  $c$*

*в) вязкости  $\mu$*

6. Понятие тепловой проводимости стенки, единицы измерения.

---

### **Вариант 2**

1. Как называется процесс передачи тепла от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку?

*а) конвективным теплообменом*

*б) теплопередачей*

*в) радиационно-кондуктивным теплообменом*

2. Дать понятие температурного градиента.

---

3. В каких единицах измеряется плотность теплового потока?

*а) Вт*

*б) Вт/м*

*в) Вт/м<sup>2</sup>*

*г) Вт/м<sup>3</sup>*

4. Цель получения дифференциального уравнения теплопроводности.

---

5. Закон Ньютона-Рихмана используют:

*а) для расчета теплопроводности*

*б) для расчета теплоотдачи конвекцией*

*в) для расчета теплового излучения*

6. Понятие термического сопротивления стенки, единицы измерения.

---

### **Вариант 3**

1. Совокупность значений температур во всех точках изучаемого пространства называется:

- а) тепловым потоком*
- б) температурным полем*
- в) поверхностной плотностью теплового потока*

2. Что такое плотность теплового потока?

---

3. Чему равно термическое сопротивление стенки если её толщина  $\delta$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$  ?

- а)  $\delta/\alpha$*
- б)  $\delta\lambda$*
- в)  $(\delta\lambda)^{0,5}$*
- г)  $\delta/\lambda$*

4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае трехмерного температурного поля при наличии внутренних источников теплоты.

---

5. Как определяют величину коэффициента теплоотдачи?

- а) на основе закона сохранения энергии*
- б) из таблиц теплофизических величин*
- в) на основе эксперимента*

6. Дать понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности.

---

#### **Вариант 4**

1. Что такое однородная среда?

- а) среда, состоящая из чистого вещества или из смеси веществ*
- б) среда, физические свойства которой являются функцией направления*
- в) среда, физические свойства которой в различных точках одинаковы при одинаковых температуре и давлении*

2. Записать основной закон теплопроводности.

---

3. Как направлен градиент температуры?

- а) параллельно изотермической поверхности*
- б) по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры*
- в) по нормали к изотермической поверхности в сторону убывания температуры*
- г) в произвольном направлении, пересекающем изотермические поверхности*

4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае трехмерного температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты.

---

5. Запишите единицы измерения тепловой проводимости стенки.



- а)  $m^2 \cdot K / Вт$*
- б)  $Вт / m^2$*
- в)  $Вт / (m^2 \cdot K)$*

6. Коэффициент теплопередачи, единицы измерения.

---

### **Вариант 5**

1. Производная температуры по нормали к изотермической поверхности называется:

- а) разностью температур*
- б) температурным градиентом*
- в) нормалью температуры*

2. Дать понятие конвекции.

---

3. Какую размерность имеет коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ?

- а)  $Вт / (m \cdot K)$*
- б)  $Вт / (m^2 \cdot K)$*
- в)  $Дж / (m \cdot K)$*
- г)  $Дж / (m^2 \cdot K)$*

4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае двухмерного температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты.

---

5. Термическое сопротивление стенки – это :

- а) отношение теплопроводности стенки к ее толщине*
- б) разность температур наружных поверхностей стенки*
- в) падение температуры в стенке на единицу плотности*

6. Термическое сопротивление теплопередачи, единицы измерения.

---

### **Вариант 6**

1. Что такое стационарное температурное поле?

- а) это совокупность значений температур во всех точках изучаемого пространства*
- б) это поле, температура в каждой точке которого неизменна с течением времени*
- в) это поле, отвечающее неустановившемуся тепловому режиму*

2. Дать понятие теплового излучения.

---

3. По какому закону изменяется температура по толщине цилиндрической стенки?

- а) линейному*
- б) параболическому*

в) логарфмическому

г) гиперболическому

4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае одномерного температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты.

---

5. Коэффициентом пропорциональности в законе Фурье является:

а)  $\alpha$

б)  $\lambda$

в)  $\beta$

5. По какому закону рассчитывается теплопередача через однослойную плоскую стенку?

а) Фурье

б) Ньютона-Рихмана

в) Закону сохранения энергии

6. Термическое сопротивление теплоотдачи, единицы измерения.

---

### Вариант 7

1. Единицы измерения температурного градиента

а)  $Вт/м^2$

б) град/м

в)  $1/К$

2. Что такое свободная и вынужденная конвекция?

---

3. Температура стенки  $t_{cm}$ , ее площадь  $F$ , температура жидкости  $t_{жс}$ . Чему равен тепловой поток?

а)  $\lambda F(t_{cm} - t_{жс})$

б)  $\lambda F t_{cm} / t_{жс}$

в)  $\alpha F(t_{cm} - t_{жс})$

г)  $\alpha F t_{cm} / t_{жс}$

4. С какой целью условия однозначности присоединяются к дифференциальному уравнению теплопроводности?

---

5. Расчетные уравнения теплопередачи зависят от

а) толщины стенки

б) температуры поверхностей стенки

в) формы стенки, разделяющей теплоносители

6. Критический диаметр изоляции.

---

### Вариант 8

1. Закон Фурье устанавливает пропорциональность между количеством переданной теплоты и :

- а) температурой*
- б) давлением*
- в) скоростью теплового потока*

2. Дать понятие коэффициента теплопроводности?

---

3. При расчете конвективного теплообмена подобие каких явлений учитывается числом Рейнольдса?

- а) гидромеханических при вынужденном движении?*
- б) гидромеханических при свободном движении*
- в) связанных с длительностью процесса теплообмена*
- г) связанных с теплопроводностью жидкости*

4. В чем заключаются граничные условия третьего рода?

---

5. Единицы измерения коэффициента температуропроводности:

- а)  $m^2 \cdot K / Вт$*
- б)  $Вт / m^2$*
- в)  $Вт / (m^2 \cdot K)$*
- г)  $m^2 / c$*

6. Целесообразность наложения изоляции.

---

### **Вариант 9**

1. Коэффициент теплопроводности газов зависит от:

- а) средней скорости перемещения молекул газа*
- б) теплоемкости газа*
- в) молекулярной массы*

2. Дать понятие коэффициента температуропроводности.

---

3. Коэффициентом пропорциональности в законе Ньютона-Рихмана является:

- а)  $\alpha$*
- б)  $\lambda$*
- в)  $\beta$*

4. Для чего к дифференциальному уравнению теплопроводности присоединяются начальные и граничные условия?

---

5. В каких единицах измеряется коэффициент теплопроводности?

- а)  $Вт / м$*
- б)  $Вт / м \cdot K$*
- в)  $Дж / K$*

з)  $Вт/м^2К$

д)  $Вт/м^2$

е) *правильного ответа нет*

6. Определите условие эффективности применения изоляции на трубопроводе.

---

### **Вариант 10**

1. По какому закону можно рассчитать теплопроводность?

а)  $Q = \alpha (T_1 - T_2) F \tau$

б)  $q = - \lambda \text{grad } t$

в)  $m = -D \text{grad } c_i$

г)  $M = \beta (C_1 - C_2) \cdot F \tau$

2. Дать понятие объемной плотности теплового потока.

---

3. Какой материал из перечисленных имеет наибольший коэффициент теплопроводности?

а) *сталь углеродистая*

б) *сталь нержавеющая*

в) *медь*

г) *стекло*

4. Перечислите три способа задания граничных условий.

---

5. По какому закону рассчитывается теплопередача через однослойную плоскую стенку?

а) *Фурье*

б) *Ньютона-Рихмана*

в) *Закону сохранения энергии*

6. Почему, как правило, трубопроводы малых диаметров не изолируют?

---

**Критерии выставления оценки студенту на экзамене  
по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»:**

Баллы (рейтинго- вой оцен- ки)	Оценка за- чета/ экза- мена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
100-86	<i>«зачтено»/ «отлично»</i>	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, знает основы технической термодинамики, понятия и законы процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, молекулярной диффузии и конвективного массообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов тепло- и массообмена в различных аппаратах и устройствах, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, рассчитывать процессы тепломассопереноса по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. Владеет навыками экспериментального исследования процессов тепломассопереноса, протекающих в конкретных технических системах. Отлично владеет теоретическими знаниями и умеет их использовать на практике, основываясь при этом не только на лекционный материал, а ставя в основу информацию и навыки, приобретенные при самостоятельной работе.
85-76	<i>«зачтено»/ «хорошо»</i>	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Достаточно уверенно оперирует специальными техническими терминами. Хорошо владеет теоретическими знаниями.
75-61	<i>«зачтено»/ «удовлетворительно»</i>	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения

Баллы (рейтинго- вой оцен- ки)	Оценка за- чета/ экза- мена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
		при выполнении практических работ. Допускает при ответе ошибки и неточности не являющиеся критическими. Частично уверенно оперирует специальными техническими терминами. Удовлетворительно владеет теоретическими знаниями.
60-50	<i>«не зачтено»/ «неудовлетворительно»</i>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Допускает при ответе грубые ошибки, или не может логически выстроить ответ. Не умеет оперировать специальными техническими терминами. Показывает не знание большей части теоретического материала.