МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

Факультет горно-металлургической промышленности и строительства

Кафедра металлургических технологий

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора по учебной работе
_____ Д.В. Мулов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Теория теплопередачи
(наименование дисциплины)

18.03.01 Химическая технология
(код, наименование направления)

Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов
(профиль подготовки)

Квалификация бакалавр
(бакалавр/специалист/магистр)

Форма обучения очная, заочная
(очная, заочная)

Алчевск, 2024

1 Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины: Целью данной дисциплины является:

– обучение студентов принципам и методам расчетов теплопередачи, использованию основных понятий, законов теплопередачи, проектированию и конструированию коксохимических агрегатов и теплопередающих устройств;

– подготовка будущего специалиста к решению научно-исследовательских и инженерных задач по расчету металлургических агрегатов при их проектировании или реконструкции.

Задачи дисциплины:

– изучение основных законов теплопередачи, теплофизических свойств вещества;

– изучение теплообменных процессов в печах коксохимического производства;

– решение конкретных задач теплопередачи инженерными методами.

Дисциплина направлена на формирование профессиональной компетенции (ПК-2) выпускника.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Логико-структурный анализ дисциплины – курс входит в часть БЛОК 1 «Элективные дисциплины (модули)» подготовки студентов по направлению 18.03.01 Химическая технология (профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»).

Дисциплина реализуется кафедрой металлургических технологий.

Входные знания студента базируются на изученных дисциплинах: «Математика», «Физика», «Общая и неорганическая химия».

Является основой для изучения следующей дисциплины: «Теплоэнергетическое оборудование и электроснабжение химических заводов».

Общая трудоемкость освоения дисциплины для очной формы обучения составляет 3 зачетные единицы, 108 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (18 ч.), практические (18 ч.) занятия и самостоятельная работа студента (72 ч.).

Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 семестре. Форма промежуточной аттестации – зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины для заочной формы обучения составляет 3 зачетных единицы, 108 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (6 ак.ч.) и практические (6 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (96 ак.ч.).

Дисциплина изучается на 3 курсе в 6 семестре. Форма промежуточной аттестации – зачет.

3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Теория теплопередачи» направлен на формирование компетенций, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетен-ции по ОПОП ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Готовность к решению профессиональных, производственных задач, контролю технологического процесса, выбору оборудования, разработке технологических нормативов на расход материалов, топлива и электроэнергии.	ПК-2	ПК-2.1. Знает: основное оборудование процессов, принципы его работы и правила технической эксплуатации, основные процессы и аппараты, устройство и принципы работы оборудования. ПК-2.2. Умеет: использовать на практике соответствующие аппараты при разработке технологических процессов, проводить работу по совершенствованию действующих и освоению новых технологических процессов, совершенствовать действующие методы проведения испытаний и исследований. ПК-2.3. Владеет: методами инженерных расчётов, связанных с выбором соответствующего оборудования, методами по ускорению освоения в производстве технологических процессов.

4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 3 зачётных единицы, 108 ак.ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает проработку материалов лекций, подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, самостоятельное изучение материала и подготовку к зачету.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		7
Аудиторная работа, в том числе:	36	36
Лекции (Л)	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	–	–
Курсовая работа/курсовой проект	–	–
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	72	72
Подготовка к лекциям	4	4
Подготовка к лабораторным работам	–	–
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	18	18
Расчетно-графическая работа (РГР)	–	–
Реферат (индивидуальное задание)	12	12
Домашнее задание	–	–
Подготовка к контрольной работе	6	6
Подготовка к коллоквиуму	–	–
Аналитический информационный поиск	12	12
Работа в библиотеке	12	12
Подготовка к зачету	8	8
Промежуточная аттестация – зачет (З)	З (2)	З (2)
Общая трудоемкость дисциплины		
ак.ч.	108	108
з.е.	3	3

5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенций, приведенных в п.3 дисциплина разбита на 6 тем:

– тема 1 (Введение. Основные виды теплопередачи);

– тема 2 (Излучение твердых тел. Закон Стефана – Больцмана);

– тема 3 (Уравнение Кирхгофа. Излучение газов);

– тема 4 (Передача тепла конвекцией: свободная и вынужденная конвекция. Закон Ньютона - Рихмана);

– тема 5 (Сложный теплообмен в рабочем пространстве коксовых печей);

– тема 6 (Теплообменные аппараты, их конструкция и принцип действия).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной и заочной формы приведены в таблице 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Введение. Основные виды теплопередачи	Вводное занятие. Общая характеристика видов теплопередачи. Стационарная и нестационарная теплопроводность. Передача тепла через одно- и многослойную стенку	2	Определение тепловых потерь при передаче тепла через однослойную стенку	2	–	–
2	Излучение твердых тел. Закон Стефана – Больцмана	Тепловое излучение. Испускательная способность тела. Спектральная поглощающая способность. Закон Стефана – Больцмана и Вина. Постоянная Планка. Люминисценция. Флуорисценция. Правило Стока. Люминисцентные источники света.	2	Определение тепловых потерь при передаче тепла через многослойную стенку.	2	–	–
3	Уравнение Кирхгофа. Излучение газов	Уравнение и закон Кирхгофа. Излучение газов. Методы определения степени черноты газов. Абсолютно черное тело.	2	Определение степени черноты продуктов сгорания природного газа расчетным путем. Определение степени черноты продуктов сгорания природного газа по номограммам.	2	–	–
4	Передача тепла конвекцией: свободная и вынужденная конвекция. Закон Ньютона - Рихмана	Физические условия при теплопередаче тепла конвекцией. Закон Ньютона – Рихмана. Факторы, определяющие интенсивность конвективного теплообмена. Критерии подобия процессов конвективного теплообмена. Определение вида критериальных уравнений по экспериментальным данным.	6	Определение коэффициентов теплопроводности материала расчетным путем. Определение поверхности нагрева регенератора	6	–	–

				расчетным путем.			
		Теплообмен при естественной конвекции. Теплообмен при ламинарном течении в трубах. Теплообмен при турбулентном течении в трубах и каналах. Теплообмен при наружном обтекании одиночной трубы. Теплообмен при обтекании плоской поверхности.		Определение температуры наружной поверхности кладки многослойной стенки.			
5	Сложный теплообмен в рабочем пространстве коксовых печей	Тепловые балансы печей непрерывного действия. Тепловые балансы печей периодического действия. Приходные и расходные статьи тепловых балансов. Общая и удельная производительность печей. Напряженность габаритного и активного пода печей. Факторы, влияющие на производительность печей.	4	Решение задач	4	–	–
6	Теплообменные аппараты, их конструкция и принцип действия	Классификация основных типов теплообменных аппаратов: контактные (смесительные, барботажные) и поверхностные (регенераторы, рекуператоры). Основные уравнения теплового расчета рекуперативных теплообменников. Коэффициент теплопередачи. Средний логарифмический температурный напор. Эффективность теплообменника. Сопоставление прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей.	2	Определение толщины и материала слоев трехслойной стенки расчетным путем.	2	–	–
Всего аудиторных часов			18		18		–

Таблица 4 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудо емкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Сложный теплообмен в рабочем пространстве коксовых печей	Тепловые балансы печей непрерывного действия. Тепловые балансы печей периодического действия. Приходные и расходные статьи тепловых балансов. Общая и удельная производительность печей. Напряженность габаритного и активного пода печей. Факторы, влияющие на производительность печей.	4	Решение задач	4	–	–
2	Теплообменные аппараты, их конструкция и принцип действия	Классификация основных типов теплообменных аппаратов: контактные (смесительные, барботажные) и поверхностные (регенераторы, рекуператоры). Основные уравнения теплового расчета рекуперативных теплообменников. Коэффициент теплопередачи. Средний логарифмический температурный напор. Эффективность теплообменника. Сопоставление прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей.	2	Определение толщины и материала слоев трехслойной стенки расчетным путем.	2	–	–
Всего аудиторных часов			6		6		–

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1 Критерии оценивания

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» (https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Код и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
ПК-2	Зачет	Комплект контролирующих материалов для зачета

Всего по текущей работе в семестре студент может набрать 100 баллов, в том числе:

– практические работы – всего 50 баллов;
– контрольные работы – всего 20 баллов;
– индивидуальное задание – 30 баллов.

Зачет проставляется автоматически, если студент набрал в течении семестра не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Зачет по дисциплине «Теория теплопередачи» проводится по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает студента, во время зачетной недели студент имеет право повысить итоговую оценку либо в форме устного собеседования по приведенным ниже вопросам (п.п. 6.5), либо в результате тестирования.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
0-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

6.2 Домашнее задание

Домашнее задание не предусмотрено

6.3 Темы для индивидуального задания

Задание: Тепловой расчет многослойной футеровки промышленной печи

Исходные данные для расчета:

1. Элемент печи – Свод.
2. Материал рабочего слоя 1– периклазохромит.
3. Толщина рабочего слоя b_1 = 400 мм.
4. Температура, °С:
5. Формула для рассчета 4,7-170· 10^{-5}· t

на внутренней поверхности рабочего слоя $t_{вн.} = 170$ **0** ;

на наружной поверхности теплоизоляционного слоя 3 $t_{зовн.} = 90$;

окружающей среды 45.

6.4 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

Варианты заданий для студентов очной формы обучения

Тема 1 Основные виды теплопередачи

1) Перечислите параметры, которыми характеризуется состояние рабочего тела или вещества.
2) Что понимается под термодинамической системой?
3) Что представляет собой равновесное и неравновесное состояния термодинамической системы?
4) Что такое газовая смесь? Способы задания газовых смесей.
5) Что такое "неравновесный процесс"?
6) Расшифруйте понятия "равновесный процесс", "неравновесный процесс".
7) Дайте определения обратимых и необратимых процессов.
8) Каковы условия обратимости процессов?
9) В чем отличие понятий "истинная" и "средняя" теплоемкости?
10) Какие теплоемкости вам известны?
11) Как вычислить теплоемкость смеси идеальных газов?

12) Каков физический смысл ульной газовой постоянной?

13) В чем физический смысл уравнения Майера?

14) Что называется теплопроводностью?

15) Каков физический смысл уравнения теплопроводности Фурье?

16) Напишите уравнение теплопроводности Фурье и объясните физический смысл составляющих этого уравнения.

17) От чего зависит величина теплопроводности?

18) Какие материалы обладают большой, средней и малой теплопроводностью?

19) Что такое начальные условия?

20) Назовите способы задания граничных условий.

21) Напишите уравнения теплопроводности для однослойной и многослойной стенок.

22) Что такое термическое сопротивление многослойной стенки? В каких единицах оно измеряется?

23) Чем отличаются уравнения теплового потока через твердые предметы различной формы (шар, цилиндр, труба, прямоугольник)?

24) Что такое регулярный режим нагревания (охлаждения) тел?

25) Что такое темп нагревания (охлаждения) тел?

26) Как изменится внутренняя энергия нагретого тела при опускании его в холодную воду? Почему?

27) Почему батареи центрального отопления ставят под окнами?

Тестовые задания:

1. Процесс изменения внутренней энергии тела без совершения работы называют:

а) теплопроводность;

б) конвекция;

в) теплопередача.

2. Что из предложенного не относится к теплопередаче:

а) излучение;

б) конвенция;

в) теплопроводность.

3. Что происходит с теплопередачей, когда температуры соприкасающихся тел выравниваются?

а) усиливается;

б) уменьшается;

в) прекращается.

4. При каком виде теплопередачи осуществляется перенос вещества?

а) излучение;

б) конвекция;

в) теплопроводность.

5. Выберите самый плохой проводник тепла:

а) мех;

б) дерево;

в) вакуум.

6. Что означает слово «конвекция» в переводе с латинского?

а) рассеивание;

б) перенесение;

в) перемешивание.

7. Чем отличается излучение от других видов теплопередачи?

а) может осуществляться в полном вакууме;

б) излучают только сильно нагретые тела;

в) излучают только слабо нагретые тела.

8. Путём излучения быстрее охлаждаются тела:

а) с тёмной поверхностью;

б) со светлой поверхностью;

в) с яркой поверхностью.

9. Каким способом возможна теплопередача между телами, разделенными безвоздушным пространством?

а) теплопроводностью;

б) конвекцией;

в) излучением.

10. Изменяется ли температура тела, если оно больше испускает энергии излучением, чем поглощает её?

а) тело нагревается;

б) тело охлаждается;

в) температура тела не изменяется.

11. Изменится ли температура тела, если оно больше поглощает энергии излучения, чем испускает?

а) тело нагревается;

б) тело охлаждается;

в) температура тела не изменяется.

12. На каком способе теплопередачи основано водяное отопление?

а) теплопроводность;

б) конвекция;

в) излучение.

Тема 2 Излучение твердых тел. Закон Стефана – Больцмана

1) Какие преобразования происходят с лучистой энергией при попадании на твердое тело?

2) Что такое абсолютно серое тело?

3) Какими свойствами должны обладать радиационные экраны?

4) Сформулируйте закон Кирхгофа. Каков его физический смысл?

5) Сформулируйте закон Стефана-Больцмана.

6) Какие величины входят в уравнение коэффициента теплоотдачи излучением?

7) Сформулируйте закон Планка. Напишите уравнение Планка и объясните его физический смысл.

8) Сформулируйте закон Вина и объясните его связь с законом Планка.

9) Каковы особенности излучения газов?

10) Как определить степень черноты газовой среды?

11) Как определяют лучистый теплообмен между параллельными плоскими стенками?

Тема 3 Уравнение Кирхгофа. Излучение газов

1) Изобразите процесс парообразования на vP- и sT-диаграммах.

2) Какой пар называется влажным? Сухим? Перегретым?

3) Какой пар называется насыщенным? Чему равна его степень сухости?

4) Покажите на is-диаграмме критическую точку, чем она характеризуется?

5) Почему на теплоэлектростанциях с повышением давления перегретого пара возникает экономия топлива?

6) Какими параметрами можно охарактеризовать состояние влажного, сухого и перегретого пара?

7) 7 Что такое скрытая теплота парообразования? Покажите ее на sT- и is-диаграммах для какого-либо одного давления.

8) Дайте определение влажного воздуха.

9) Что такое абсолютная влажность воздуха? В каких единицах она измеряется?

10) Что такое влагосодержание воздуха? В каких единицах оно измеряется?

11) Что такое относительная влажность воздуха?

12) Что такое точка росы?

13) В каких пределах может измеряться влагосодержание?

14) Как изменяется влагосодержание воздуха при его охлаждении?

15) Как изменяется влагосодержание при нагреве воздуха?

16) Покажите на id-диаграмме, как определяется парциальное давление водяных паров.

17) Какие процессы можно построить на id-диаграмме влажного воздуха?

Тестовые задания:

1) Термодинамические параметры системы:

а) масса, объем, давление, температура;

б) масса, объем, теплота, температура;

в) масса, объем, давление, работа.

2. Для изобарного процесса справедливо уравнение:

а) V1/T1=V2/T2;

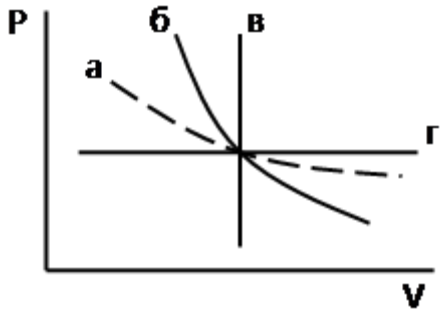
б) V1*P1=V2*P2;

в) P1/T1=P2/T2.

3. Теплота – это кинетическая энергия:

а) хаотического движения молекул;

б) равномерного движения молекул;
в) поступательного движения молекул.
4. Энтальпия (Н) в термодинамической системе играет роль:
а) функции;
б) параметра;
в) зависимой переменной.
5. Внутренняя энергия газа пропорциональна его:
а) давлению;
б) температуре;
в) объему.
6. Адиабатный процесс в газе в координатах P-V показан на диаграмме:



а) а;
б) б;
в) в;
г) г.
7) Уравнение политропного процесса выглядит как:
а) $p \cdot \upsilon^k = const$;
б) $p \cdot \upsilon = R \cdot T$;
в) $p \cdot \upsilon^n = const$;
г) $p \cdot \upsilon = const$
8. По обратному циклу Карно работают:
а) тепловые двигатели;
б) паровые турбины;
в) двигатели внутреннего сгорания;
г) холодильные установки.
9. Уравнение для изменения внутренней энергии газа в изобарном процессе имеет вид:
а) $\Delta U = m \cdot c_P \cdot (T_1 - T_2)$;
б) $\Delta U = \ell$;
в) $\Delta U = m \cdot c_V \cdot (T_2 - T_1)$.

Тема 4 Передача тепла конвекцией: свободная и вынужденная конвекция

1) Нарисуйте плоскую стенку и покажите, какие виды теплообмена наблюдаются при передаче тепла от одного теплоносителя к другому через эту разделительную стенку?

2) Назовите наиболее распространенные природные теплоносители.

3) Чем отличаются расчетные формулы теплопередачи через цилиндрическую стенку от формул для плоской стенки?

4) Как участвует в теплообмене оребрение трубок?

5) Что такое коэффициент оребрения?

6) Какой эффект дает оребрение?

7) В каких случаях теплопередачу в трубчатых теплообменниках можно рассматривать как теплопередачу через плоскую стенку?

8) При помощи каких исходных аналитических зависимостей находят определяющие критерии?

9) Какой критериальной зависимостью следует воспользоваться для определения при вынужденном движении жидкости в трубках теплообменника?

10) Какая критериальная зависимость применима для определения при свободном конвективном теплообмене?

11) Как влияет характер движения жидкости (ламинарный, турбулентный) на выбор критериального уравнения, с помощью которого подсчитывается коэффициент теплоотдачи?

12) По каким показателям определяют возможность применения того или иного критериального уравнения для подсчета коэффициента теплоотдачи?

Тема 5 Сложный теплообмен в рабочем пространстве коксовых печей

1) Приведите определение огнеупорных материалов.

2) Перечислите основные рабочие свойства огнеупоров.

3) Приведите классификацию огнеупоров.

4) Перечислите технологические параметры нагрева металла.

5) Приведите назначение схему работы нагревательного колодца.

6) Приведите назначение схему работы методической печи.

7) Приведите назначение схему работы термической печи.

8) Назовите преимущества и недостатки электротермических установок.

9) Назовите основную задачу регенеративного подогрева воздуха.

10) Перечислите типы конвективных рекуператоров.

11) Приведите последовательность расчета щелевого радиационного подогревателя.

12) Какие требования предъявляются в насадке регенератора?

13) Перечислите типы регенераторов.

14) Опишите технологический режим коксовой печи.

15) Как осуществляется управление процессом коксования?

16) Приведите материальный и тепловой баланс коксовой печи.

17) Как происходит управление процессом обогрева?

Задачи:

1) Коксовый цех из 4-х батарей, в каждой из которых по 65 печей. Полезный объем камер коксования − 30 нм^3. Оборот печей 15 ч. После 18 дней работы баланс выявил невыполнение плана на 2% по валовому коксу.

Определить необходимый оборот коксовых печей для того, чтобы за оставшиеся 12 дней месяца выйти на месячное выполнение плана на 100,1%.

Плотность насыпной массы шихты 0,733 т/нм^3. Выход валового кокса от шихты составляет 75%.

2) Продукты сгорания коксового газа имеют состав, %: CO_2 8,5; O_2 2,5; CO 0,2. Определить значение α.

3) В результате совершенствования схемы подготовки углей для коксования плотность насыпной массы возросла с 750 до 780 кг/нм^3. Ваши действия по регулировке обогрева коксовых печей? Обогрев производится коксовым газом с теплотой сгорания 18500 кДж/нм^3. Расход газа на обогрев следующий:

− машинная сторона − 5700 нм^3/ч;

− коксовая сторона − 6200 нм^3/ч.

Напоминаем, что для поддержания степени готовности кокса на постоянном, установленном уровне необходимо обеспечивать стабильность количества тепла, передаваемого угольной загрузке.

4) Плотность насыпной массы шихты уменьшилась с 775 до 760 кг/нм^3 при неизменной влаге и других параметрах ее качества.

Определить требуемые изменения расхода газа на обогрев батареи для сохранения постоянного уровня готовности кокса. Прежнее значение общего расхода − 11220 нм^3/ч.

5) В результате длительных дождей влажность шихты увеличилась на 2%. Марочный состав и технический анализ шихты остаются прежними. Как изменить расход отопительного газа и температуру в контрольных вертикалах, чтобы сохранить заданную готовность кокса?

Влажность шихты – 9%;

Расход отопительного газа − 11000 нм^3/ч;

Температура в контрольных вертикалах:

− с машинной стороны − 1300 °С;

− с коксовой стороны − 1345 °С.

Удельный расход тепла на коксование влажной шихты qв.ш. = 2480 кДж/кг.

Напоминаем, что каждый процент влаги в шихте увеличивает фактический удельный расход тепла на коксование примерно на 33,5 кДж/кг, а также требует увеличения температуры в простенках на 5–7 °С.

При решении задачи следует иметь ввиду, что относительное изменение

удельного расхода тепла на коксование соответствует требуемым относительным изменениям расхода отопительного газа на обогрев.

6) Влажность шихты с 11% уменьшилась до 7%;

Расход отопительного газа − 12000 нм^3/ч;

Температура в контрольных вертикалах:

− с машинной стороны − 1295˚ С;

− с коксовой стороны − 1320˚ С.

Удельный расход тепла на коксование влажной шихты qв.ш. = 2495 кДж/кг.

Напоминаем, что каждый процент влаги в шихте увеличивает фактический удельный расход тепла на коксование примерно на 33,5 кДж/кг, а также требует увеличения температуры в простенках на 5–7 °С.

Определить необходимые изменения расхода отопительного газа и температуры в контрольных вертикалах для сохранения готовности кокса на прежнем уровне.

7) В целях повышения прочности кокса по сопротивлению истирающим воздействиям принято решение увеличить степень готовности кокса.

Температуру в осевой плоскости коксового пирога требуется повысить с 1000 до 1050 °С. Удельный расход тепла на коксование при 1000 °С составляет qш = 2520 кДж/кг.

Определить необходимые для этого изменения температуры в обогревательных простенках и расход тепла на коксование в условиях постоянного периода коксования.

Из практики обогрева коксовых печей известно, что для повышения температуры в осевой плоскости коксового пирога на 25–30 °С требуется температуру в контрольных вертикалах повысить на 10 °С, т. е. для повышения температуры на 1 °С в осевой плоскости надо в вертикалах ее увеличить на 10/25÷10/30 = 0,4÷0, 33 °С. Для увеличения температуры в осевой плоскости на 50 °С в вертикалах надо ее поднять на 17–20 °С (0,33·50 ≈ 17; 0,4·50 = 20).

8) При обогреве доменным газом и α = 1,1 в продуктах сгорания обнаружено 1,2% СО. Их количество составляет на 1 нм^3 газа 1,67 нм^3. Определить потери тепла в связи с неполным сгоранием газа.

9) При обогреве доменным газом изменение коэффициента избытка воздуха с 1,3 на 1,5 привело к увеличению количества продуктов горения на 1 нм^3 газа с 1,85 до 2 нм^3. Температура продуктов горения 300 °С, их объемная теплоемкость составляет 1,47 кДж/(нм^3·К).

Определить дополнительный унос тепла.

10) Определить нормальную калориметрическую температуру (tн.к) обезводороженного коксового газа. Для этого газа Qi = 23100 кДж/нм^3, Vп.г. = 6,79 нм^3.

11) Определить по упрощенной методике калориметрическую температуру горения коксового газа, при температуре подогрева воздуха

1000 °С и α = 1, 3 Для расчета по формуле: воспользуемся следующими исходными данными: Qi = 17700 кДж/нм^3; Vвд = 5,54 нм^3; Vви = 1,28 нм^3; Qэв = 5,54·1, 41·1000 = 7800 кДж/нм^3.

12) Определить калориметрическую температуру горения доменного газа, при температуре подогрева газа и воздуха 1000° С. Для расчета по формуле: воспользуемся следующими исходными данными: Qi = 4070 кДж/нм3; Vв.д. =0,92 нм^3; Vв.н. = 0,16 нм^3; Qэ.в. = 0,92·1,38·1000 = 1270 кДж/нм^3; Qэ.г. = 1·1,55·1000 =1550 кДж/нм^3.

13) Известно, что qв.ш. = 2700 кДж/кг при W = 10%. Определить qс.ш..

14) Определить qп.р., если при влажности шихты W = 10% расход тепла qв.ш. = 2640 кДж/кг.

Тема 6 Теплообменные аппараты, их конструкция и принцип действия

1) Какие виды теплообмена можно наблюдать в теплообменных аппаратах? Приведите пример.

2) Как составляется тепловой баланс теплообменного аппарата? Приведите пример.

3) В каких случаях среднелогарифмический температурный перепад заменяется среднеарифметическим?

4) Что такое рекуперативные теплообменники? Назовите области их применения.

5) Что называется горением?

6) Как теоретически рассчитывается количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива?

7) Что такое коэффициент избытка воздуха и как он определяется?

Тестовые задания:

1. Какие поверхностные теплообменники относятся к трубчатым?

а) спиральные;

б) оросительные;

в) пластинчатые.

2. Какие теплообменники имеют более высокий коэффициент теплоотдачи?

а) «труба в трубе»;

б) кожухотрубные;

в) погружные.

3. В каких теплообменниках в качестве насадки применяют кирпичи, металлические листы и т.п.?

а) смесительные;

б) регенеративные;

в) поверхностные.

4. Пластинчатые теплообменники используют для теплообмена:

а) между газами при атмосферном давлении;

б) между жидкостями;

в) между газом и жидкостью.

5. В каких теплообменниках передача тепла от горячего теплоносителя к холодному происходит путем их непосредственного соприкосновения?

а) поверхностные;

б) регенеративные;

в) смесительные.

6. Какие поверхностные теплообменники используют в качестве холодильников?

а) кожухотрубные;

б) пластинчатые;

в) оросительные.

7. К теплообменным аппаратам с оребренными поверхностями теплообмена относятся:

а) пластинчатые калориферы;

б) погружные;

в) регенеративные.

8. Какие теплообменники применяют при высоких температурах теплоносителей (более 5000С)?

а) регенеративные;

б) смесительные;

в) поверхностные.

9. Какие теплообменники имеют низкий коэффициент теплообмена?

а) «труба в трубе»;

б) спиральные;

в) погружные.

10. Что применяют в качестве насадки в регенераторах для теплообмена между газами при низких температурах (до – 2000С)?

а) кирпичи;

б) металлические листы;

в) алюминиевая фольга.

Решение задач по курсу

1) Вычислить секундный расход теплоты (Q, Вт) через кирпичную стенку высотой h, длиной l и толщиной δ. Температуры поверхностей стен равны t1 и t2.

2) Плоская стенка выполнена из шамотного кирпича толщиной δ. Температуры ее поверхности равны t1 и t2. Коэффициент теплопроводности шамотного кирпича зависит от температуры и определяется зависимостью $\lambda = 0{,}838(1 + 0{,}0007 \cdot t)$ Вт/(м·К). Вычислить и изобразить в масштабе распределение температуры в стенке.

3) Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной δ и слоя строительного войлока. Температуры на внешней поверхности кирпичного слоя равны t1 и на внешней поверхности войлока t2. Коэффициенты теплопроводности красного кирпича λ1 и строительного войлока λ2. Вычислить температуру в плоскости 19 соприкосновения слоев и

найти толщину войлочного слоя при условии, чтобы тепловые потери через 1 м 2 стенки не превышал qпот.

4) Вычислить секундный расход теплоты (Q, Вт) через стенку трубы из жаропрочной стали, имеющей внутренний диаметр d1 , мм и наружный диаметр d2 , мм. Температура наружной поверхности трубы t2 , °С, температура внутренней поверхности t1 , °С.

5) Паропровод диаметром d1/d2 с коэффициентом теплопроводности λ1 покрыт изоляцией в два слоя δ1 и δ2. Температуры внутренней поверхности трубы t1 и наружной поверхности изоляции t4. Определить потери теплоты через изоляцию с 1 пог. м трубы и температуру на поверхности соприкосновения слоев изоляции, если первый слой 20 изоляции, накладываемый на поверхность трубы, выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности λ2, а второй слой – из материала с коэффициентом теплопроводности λ3.

6) По воздуховоду, размером h×b движется воздух со скоростью w. Температура воздуха t. Определить критерии Re, Pe, Pr.

7) Для изучения движения воздуха в трубе, диаметром d1, со средней скоростью w, использовали модель с диаметром d2. Какую скорость воздуха нужно создать в модели, чтобы осуществить в ней подобие с натурой?

8) Найти потери теплоты с одного погонного метра паропровода, который охлаждается свободным потоком воздуха. Наружный диаметр паропровода равен d, температура его поверхности, t1, температура воздуха вдали от паропровода tz. Потери теплоты излучением не учитывать.

9) Определить средний коэффициент теплоотдачи соприкосновением от поперечного потока дымовых газов к трубам водяного экономайзера парового котла. Трубы расположены в шахматном порядке. Наружный диаметр труб, d мм, число рядов труб вдоль потока газов равно n. Шаг труб поперек потока газов, x1 = 95 мм. Шаг труб вдоль потока, x2=75 мм. Температура газов перед экономайзером t1, после него t2. Средняя скорость газов w.

10) Определить коэффициент теплоотдачи от стенки трубки конденсатора паротурбинной установки к охлаждающей воде, количество передаваемой теплоты и длину трубки, если средняя по ее длине температура стенки tc, внутренний диаметр трубки d, температура воды на входе и выходе из трубки равны соответственно t1 и t2. Средняя скорость воды равна w.

11) Найти коэффициент теплоотдачи при кипении воды на трубке испарителя, работающей с плотностью теплового потока q, если температура поверхности трубки t, а вода находится при температуре насыщения под давлением P. Наружный диаметр трубки d.

12) Определить коэффициент теплоотдачи от конденсирующего пара к стенке труб вертикального подогревателя, обогреваемого паром, давлением P. Высота труб подогревателя H, диаметр трубок, d. Температура стенки трубы, t.

13) По траншее, выложенной кирпичом, проложен трубопровод горячего воздуха. Температура наружной поверхности стенки трубопровода равна t. Наружный диаметр трубопровода равен d. Траншея имеет ширину b и высоту h. Температура ее кирпичных стен равна t2. Определить количество теплоты, отдаваемой излучением трубопровода стенам изоляции, отнеся ее к одному погонному метру трубопровода.

14) Дымовые газы проходят пучок труб при средней температуре газов t. Температура стенок труб tc. Состав газовой смеси rco2, rH2O. Трубы расположены в вершинах равностороннего треугольника. Диаметр труб 83 мм. Вычислить количество теплоты, передаваемой излучением, и коэффициент теплоотдачи излучением, если расстояние между поверхностями труб x = 83 мм.

15) Воздух расходом G2 нагревается в трубчатом воздухоподогревателе парового котла от температуры t'в до t"в. Воздух движется поперек трубного пучка со средней скоростью в узком сечении wв. Трубы расположены в шахматном порядке с 25 шагами s1=s2. Дымовые газы (13 % CO2; 11 % H_20) в количестве G1 движутся внутри стальных труб диаметром d2/d1 со средней скоростью wг. Температура газов на входе в воздухоподогреватель tг. Определить необходимую поверхность теплообмена.

Полные данные для расчетов находятся у преподавателя.

6.5 Вопросы для подготовки к зачету

1) Перечислить существующие виды теплопередачи.
2) Описать стационарный процесс передачи тепла теплопроводностью.
3) Описать нестационарный процесс передачи тепла теплопроводностью.
4) Написать уравнение теплопроводности Фурье.
5) Охарактеризовать стационарное температурное поле.
6) Охарактеризовать нестационарное температурное поле.
7) Что такое излучение твердых тел?
8) Написать уравнение передачи тепла излучением Стефана – Больцмана.
9) Написать Уравнение Кирхгофа.
10) Изложить вывод из уравнения Кирхгофа.
11) В чем заключаются особенности излучения газов?
12) Как осуществляется определение степени черноты газов?
13) Охарактеризуйте свободную конвекцию.
14) Опишите вынужденную конвекцию.
15) Опишите сложный теплообмен в рабочем пространстве коксовых печей излучением и конвекцией.
16) Опишите сложный теплообмен в рабочем пространстве коксовых

печей конвекцией и теплопроводностью.

17) Приведите классификацию и конструкция основных типов теплообменных аппаратов.

18) В чем заключается тепловая работа регенераторов коксовых печей?

19) Опишите тепловую работу рекуператоров коксовых печей.

20) Опишите конструкцию и тепловую работу блочных керамических рекуператоров коксовых печей.

21) Опишите конструкцию и тепловую работу коксовых рекуператоров из гладких стальных труб.

6.6 Примерная тематика курсовых работ

Курсовые работы не предусмотрены.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Рекомендованная литература

Основная литература

1. Ведерникова, М. И. Тепловые и массообменные процессы: учебно-методическое пособие / М. И. Ведерникова, Л. Г. Старцева, И. К. Гиндулин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. – 158 с. – Режим доступа: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/12711/1/Vedernikova_23.pdf

2. Основы высокотемпературной теплотехнологии: учебное пособие / А.В. Бараков, Д.А. Прутских, А.А. Надеев, В.Ю. Дубанин; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 91 с. – Режим доступа: https://cchgeu.ru/upload/iblock/1a5/ccc2xcqb8tlywzcmves7ehfpn7c9h3h7/Osnovy-vysokotemp.-teplotekhn._Ucheb.-posobie_2022-_VTPiU_.pdf

3. Королев, В.Н. Теоретические основы теплотехники. Теплоперенос: учебное пособие / В.Н. Королев, А.В. Островская; М-во науки и высш. обр. РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021.— 206 с. – Режим доступа: file:///C:/Users/Ramazanova/Downloads/978-5-7996-3333-2_2021.pdf

Дополнительная литература

1. Коновалова, Л.С. Теоретические основы теплотехники. Теплопередача: учебное пособие / Л.С. Коновалова, Ю.А. Загромов – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 118 с. – Режим доступа: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1731068792&tld=ru&lang=ru&nam

2. Баранов, В.М. Термодинамика и теплопередача: Учебное пособие: 2-е издание, переработанное / В.М. Баранов, А.Ю. Коньков. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2004. – 91 с. – Режим доступа: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1731068792&tld=ru&lang=ru&name=Termodinamika_i_teploperedasha-Baranov.pdf&text=

3. Дьяконов, В. Г. Основы теплопередачи и массообмена: учебное пособие /В. Г. Дьяконов, О. А. Лонщаков; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2015. – 244 с. – Режим доступа: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1731068792&tld=ru&lang=ru&name=

4. Котовский, В.Н. Теплопередача: конспект лекций. – М.: МГТУ ГА, 2015. – 76 с. – Режим доступа: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1731068792&tld=ru&lang=ru&name=

5. Виноградов, В. С. Техническая термодинамика и теплопередача в примерах и задачах: учеб. пособие / В. С. Виноградов, А. В. Космынин, А. Ю. Попов. −2-е изд., перераб. и доп. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2012. – 346 с. – Режим доступа:

https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1731068792&tld=ru&lang=ru&name=

Методическое обеспечение

1. Термодинамика практикум: [Электронный ресурс] / сост. С. С. Макаров – Электронное издание – Ижевск: Удмуртский университет, 2022. – 50 с. – Режим доступа: https://docviewer.yandex.ru/view/0/?page=2&*=KBjpJ7Q%

7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ: официальный сайт.— Алчевск. — URL: library.dstu.education.— Текст: электронный.
2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова : официальный сайт. — Белгород. — URL: http://ntb.bstu.ru/jirbis2/.— Текст: электронный.
3. Консультант студента: электронно-библиотечная система.— Москва. — URL: http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x.— Текст: электронный.
4. Университетская библиотека онлайн: электронно-библиотечная система.— URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red.— Текст: электронный.
5. IPR BOOKS: электронно-библиотечная система.— Красногорск. — URL: http://www.iprbookshop.ru/. —Текст: электронный.
6. ЭБС Издательства "Университетская библиотека онлайн" http://e.lanbook.com/
7. ЭБС Издательства "ЛАНЬ": [сайт]. – https://e.lanbook.com/
8. Цифровая библиотека IPR SMART: [сайт]. – https://www.iprbookshop.ru/
9. Национальная электронная библиотека: [сайт]. – https://rusneb.ru/
10. Российская Государственная Библиотека: [сайт]. – https://diss.rsl.ru/
11. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: [сайт]. – https://cyberleninka.ru/
12. Научная электронная библиотека eLIBRARY: [сайт]. – https://elibrary.ru/defaultx.asp?/
13. Электронная библиотека «Астраханский государственный университет» – https://biblio.asu.edu.ru
14. ЭБС «Университетская Библиотека Онлайн» https://biblioclub.ru
15. Информационно-библиотечный комплекс «Политех» https://library.spbstu.ru

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
Интерактивная доска, компьютеры, планшеты, раздаточный материал для лабораторных работ, вытяжной шкаф, лабораторный стол преподавателя, лабораторные столы для студентов, учебный стенд, оборудование для лабораторных работ. Численность посадочных мест- 30 человек	406 главный корпус Лаборатория общей химии

Лист согласования РПД

Разработал
старший преподаватель кафедры
металлургических технологий — Е.Ю. Рамазанова
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

_____ (должность) _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

_____ (должность) _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

И.о. заведующего кафедрой
металлургических технологий — Н.Г. Митичкина
(подпись) (Ф.И.О.)

Протокол № 1 заседания кафедры
металлургических технологий от 30.08.2024г.

И.о декана факультета горно-
металлургической промышленности
и строительства — О.В. Князьков
(подпись) (Ф.И.О)

Председатель методической
комиссии по направлению подготовки
18.03.01 «Химическая технология»
Профиль «Химическая технология
природных энергоносителей и
углеродных материалов» — Н.Г. Митичкина
(подпись) (Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра — О.А. Коваленко
(подпись) (Ф.И.О.)

Лист изменений и дополнений

<table>
<tr><td colspan="2">Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений</td></tr>
<tr><td>ДО ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:</td><td>ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Основание:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Подпись лица, ответственного за внесение изменений</td></tr>
</table>