

Рабочая программа дисциплины (модуля) **Теплофизика и теплотехника**

Закреплена за кафедрой	Базовых дисциплин
Направление подготовки	22.03.02 Металлургия
Профиль	Металлургия черных металлов
Квалификация	бакалавр
Форма обучения	заочная
Общая трудоемкость	5 ЗЕТ
Часов по учебному плану	180
в том числе:	Формы контроля в семестрах:
аудиторные занятия	зачет с оценкой 4
самостоятельная работа	12
	164

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	4 (2.2)		Итого	
Неделя	19			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	6	6	6	6
Практические	6	6	6	6
Контроль самостоятельной работы	4	4	4	4
Итого ауд.	12	12	12	12
Контактная работа	16	16	16	16
Сам. работа	164	164	164	164
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

ктн, Доц., Шатохин Константин Станиславович

Рабочая программа

Теплофизика и теплотехника

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.02 Metallургия, ЭМ-26 ЗО(сессионный режим).plx Metallургия черных металлов, утвержденного Ученым советом ВФ НИТУ "МИСИС" 21.11.2025, протокол № 3-25

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Базовых дисциплин

Протокол от 14.05.2026 г., №9

Зав. кафедрой Уснунц-Кригер Т.Н. _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Цель дисциплины – сформировать знания о тепловых процессах при производстве и обработке металлов; научить методам применения основных закономерностей этих процессов для анализа и расчета конструктивных и эксплуатационных параметров металлургических агрегатов, обеспечивающих высокое качество металлопродукции и энергосбережение при выполнении нормативов по защите окружающей среды.
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:		Б1.О
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Физика	
2.1.2	Химия	
2.1.3	Математика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Научно-исследовательская работа	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания						
ОПК-1.1: Демонстрирует навыки применения фундаментальных, естественнонаучных и общинженерных знаний для решения задач профессиональной деятельности						
Знать:						
ОПК-1.1-31 фундаментальные законы сохранения массы, импульса и энергии в интегральной и дифференциальной форме для сплошной среды						
ОПК-1.1-32 физические основы механизмов переноса (вязкость, теплопроводность, излучение) и условия их сопоставления						
Уметь:						
ОПК-1.1-У1 решать типовые задачи по расчету поля скоростей и давлений в потоке с использованием уравнения Бернулли и уравнений гидростатики						
ОПК-1.1-У2 рассчитывать стационарные тепловые потоки через плоские и цилиндрические многослойные стенки с различными граничными условиями						
ОПК-1.1-У3 определять коэффициенты теплоотдачи с использованием критериальных уравнений для стандартных геометрий и режимов течения						
Владеть:						
ОПК-1.1-В1 навыками постановки и решения комбинированных задач теплообмена (например, теплопроводность с конвекцией на границе, радиационно-конвективный теплообмен)						
ОПК-1.1-В2 применением расчётных методов (регулярный режим, зональный метод) для анализа нестационарных и пространственно-сложных теплофизических процессов						

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература и эл. ресурсы	Примечание
	Раздел 1. Гидрогазодинамика					
1.1	Основные понятия механики жидкостей и газов: сплошная среда, плотность, вектор скорости, идеальная и реальная жидкость. Формула Ньютона для касательного напряжения трения. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера /Лек/	4	0,3			
1.2	Уравнение Навье-Стокса. Режимы течения реальной жидкости. Критерий Рейнольдса. Постановка задачи для расчета движения жидкости. Статика жидкостей и газов. /Лек/	4	0,4			

1.3	Элементы теории гидродинамического пограничного слоя. Уравнения Прандтля. Уравнение потока импульса для пограничного слоя (Уравнение Кармана). Расчет ламинарного пограничного слоя на основе интегрального метода. /Лек/	4	0,4			
1.4	Уравнение Бернулли для струйки тока идеальной жидкости и для потока реальной жидкости. Расчет потерь давления на трение и на местные сопротивления. Особенности струйного течения. Изменение основных характеристик осесимметричной турбулентной струи (давления, потоков импульса и кинетической энергии, осевой скорости, объемного расхода) по ее длине.	4	0,4			
1.5	Ламинарное и турбулентное течение жидкостей и газов. /Пр/	4	0,3			
1.6	Гидродинамический пограничный слой. /Пр/	4	0,3			
1.7	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. Выполнение домашнего задания № 1. /Ср/	4	24			
	Раздел 2. Конвекция					
2.1	Основные положения переноса теплоты. Три вида теплообмена. Основные понятия конвективного теплопереноса, дифференциальное уравнение конвективной теплоотдачи. Дифференциальное уравнение энергии Фурье- Кирхгофа и его решение. Тепловой пограничный слой, критерий Прандтля. /Лек/	4	0,3			
2.2	Расчет теплового пограничного слоя при ламинарном режиме течения жидкости. Уравнения конвективной теплоотдачи при вынужденном движении в безразмерном (критериальном) виде и особенности их использования при практических расчетах. Конвективная теплоотдача при свободном движении. Уравнения конвективной теплоотдачи при свободном движении в безразмерном (критериальном) виде и особенности их использования при практических расчетах. /Лек/	4	0,3			
2.3	Конвективный теплообмен, часть 1. /Пр/	4	0,3			
2.4	Конвективный теплообмен, часть 2. /Пр/	4	0,3			
2.5	Проработка лекционного материала, материала	4	20			
	Раздел 3. Теплопроводность					
3.1	Основные понятия теории теплопроводности. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности и условия однозначности для его решения. Передача тепла при стационарной теплопроводности через одно- и многослойную плоскую стенку при граничных условиях первого и третьего рода. Передача тепла при стационарной теплопроводности через цилиндрическую одно- и многослойную стенку	4	0,3			

3.2	Методы решения задач нестационарной теплопроводности. Нестационарная теплопроводность при граничных условиях первого и третьего рода. Общее решение уравнения нестационарной теплопроводности и его использование для случая термически массивных тел. Общее решение уравнения нестационарной теплопроводности и его использование для случая термически тонких	4	0,3			
3.3	Стационарная теплопроводность, часть 1. /Пр/	4	0,3			
3.4	Стационарная теплопроводность, часть 2. /Пр/	4	0,3			
3.5	Нестационарная теплопроводность. /Пр/	4	0,3			
3.6	Проработка лекционного материала, материала	4	22			
	Раздел 4. Радиационный теплообмен					
4.1	Основные понятия радиационного переноса теплоты. Количественные характеристики излучения. Законы излучения абсолютно черного тела. Применение основных законов излучения абсолютно черного и серого тела к анализу и расчету радиационного теплообмена. Угловые коэффициенты излучения как показатели, учитывающие геометрию теплообменной системы. Свойства средних угловых коэффициентов излучения, их	4	0,3			
4.2	Зональный метод расчета радиационного теплообмена. Смешанная и фундаментальная постановки задачи. Замкнутая система из 2 серых тел, разделенных диатермической средой. Действие экранной теплоизоляции. Излучение через окна печи. Радиационный теплообмен в системе серых тел, заполненных поглощающе-излучающей средой. Закон Бугера. Эффективная	4	0,3			
4.3	Теплообмен излучением, часть 1. /Пр/	4	0,3			
4.4	Теплообмен излучением, часть 2. /Пр/	4	0,3			
4.5	Теплообмен излучением, часть 3. /Пр/	4	0,3			
4.6	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. Выполнение	4	20			
	Раздел 5. Генерация и утилизация теплоты					
5.1	Классификация топлива, показатели его качества. Кинетический и диффузионный режимы горения топлива. Расчёт калориметрической, теоретической и действительной температуры. Конструкции и выбор устройств для сжигания топлива. Тепловые эквиваленты сырьевых материалов шихты. Генерация теплоты за счёт электрической энергии. /Лек/	4	0,4			
5.2	Виды вторичных энергоресурсов на предприятии и методы их использования. Способы утилизации теплоты, характеристика теплообменных устройств. Общая теория и расчет рекуператоров. Передача теплоты через обременные поверхности при граничных	4	0,4			

5.3	Классификация печей по энергетическому признаку, технологическому назначению и конструктивным признакам. Типовые режимы работы печей- теплообменников и печей-теплогенераторов. Основные показатели тепловой работы печей: температура, тепловой режим, коэффициенты полезного тепло- и топливоиспользования. Тепловой баланс печей и его использование для оценки эффективности работы печей. Классификация, физические и эксплуатационные свойства огнеупоров. Принципы выбора материала огнеупорной	4	0,4			
5.4	Расчет горения газообразного топлива. /Пр/	4	0,3			
5.5	Расчет горения жидкого топлива. /Пр/	4	0,3			
5.6	Расчет нагревателей электрических печей.	4	0,3			
5.7	Расчет нагревателей электрических печей.	4	0,3			
5.8	Тепловой расчет металлического прямотрубного рекуператора. /Пр/	4	0,3			
5.9	Расчет игольчатого рекуператора. /Пр/	4	0,3			
5.10	Проработка лекционного материала, материала	4	40			
	Раздел 6. Конструкции и тепловая работа печей					
6.1	Мировое производство стали. Производство окатышей и агломерата. Производство кокса. Конструкция и тепловая работа доменной печи. Особенности теплообмена в слое. Движение газов и шихты. Водяные эквиваленты кусковых материалов и газов. Типичное изменение температуры по высоте печи. Тепловые процессы в зоне фурм. Газогенераторный и топочный режимы работы шахтных печей цветной металлургии. Способы	4	0,3			
6.2	Конструкция, газодинамический, тепловой и температурный режимы работы конвертера черной металлургии. Конвертер цветной металлургии. Особенности конвертирования медных штейнов: периоды накопления и потребления теплоты. Способы интенсификации тепловой работы подовых сталеплавильных агрегатов. Дуговые печи: конструкция и теплотехническая характеристика, способ нагрева, особенности радиационного теплообмена. /Лек/	4	0,3			
6.3	Теплотехнические основы рациональной технологии нагрева металла перед обработкой давлением. Проходные нагревательные печи. Реализация скоростного конвективного нагрева металла. Характеристика основных печей для нагрева металла под термообработку. Садочные термические печи. Печи сопротивления косвенного действия: их общая характеристика	4	0,3			

6.4	Печи для кислородно-факельной плавки. Печи с вертикальным расположением факела для взвешенной плавки на штейн. КИВЦЭТ-агрегат. Печь Ванюкова для плавки руд и концентратов.	4	0,3			
6.5	Печи для непрерывного получения черновой меди. Огневое и электролитическое рафинирование меди. Конструкция печей для обжига сульфидных концентратов в кипящем слое. Тепловой и температурный режимы процесса обжига. Основы аэродинамического расчёта кипящего слоя. Принципы работы и конструкции трубчатых вращающихся печей. Тепловой и температурный режимы нагрева сыпучих материалов. Перспективные тепловые	4	0,3			
6.6	Расчет нагрева металла в методической печи. /Пр/	4	0,4			
6.7	Примерный расчет дуговой сталеплавильной печи. /Пр/	4	0,4			
6.8	Расчет внешнего теплообмена в рабочем пространстве отражательной печи. /Пр/	4	0,4			
6.9	Проработка лекционного материала, материала	4	38			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену (зачёту с оценкой)

Вопросы к зачёту с оценкой.

1. Основные понятия механики жидкостей и газов: сжимаемая и несжимаемая жидкость, идеальная и реальная жидкость, вектор скорости.
2. Дифференциальное уравнение неразрывности.
3. Уравнения Эйлера и Уравнение Навье-Стокса.
4. Силы, действующие в движущейся реальной жидкости. Два режима движения жидкости. Критерий Рейнольдса. Постановка задачи для расчета движения жидкости.
5. Избыточное давление в рабочем пространстве печи, заполненном легким газом.
6. Принцип действия дымовой трубы.
7. Элементы теории гидродинамического пограничного слоя. Пристеночный и свободный пограничный слой.
8. Дифференциальные уравнения ламинарного пограничного слоя (уравнения Л. Прандтля).
9. Уравнение потока импульса для пограничного слоя (уравнение Т. Кармана).
10. Расчет ламинарного пограничного слоя на основе интегрального метода.
11. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости.
12. Расчет потерь давления жидкости на трение и на местные сопротивления.
13. Общие сведения о теплообмене. Плотность потока теплоты. Теплоотдача и теплопередача.
14. Молекулярная теплопроводность. Закон Фурье.
15. Конвективная теплоотдача. Закон Ньютона.
16. Дифференциальное уравнение конвективной теплоотдачи.
17. Дифференциальное уравнение энергии. Постановка задачи для расчета теплового потока при теплоотдаче.
18. Тепловой пограничный слой. Критерий Прандтля.
19. Расчет коэффициента теплоотдачи (локального и среднего по длине) при вынужденном ламинарном движении жидкости вдоль плоской поверхности.
20. Теплоотдача при свободной конвекции. Критерии Архимеда и Грасгофа.
21. Основные понятия радиационного теплообмена. Связь между яркостью и плотностью потока полусферического излучения.
22. Законы излучения абсолютно черного тела.
23. Свойства угловых коэффициентов излучения. Частные случаи систем: две бесконечные параллельные пластины, система двух концентрических сфер, внутренняя поверхность сферического сегмента и его основание.
24. Применение зонального метода для расчета радиационного теплообмена в печах с диатермической средой.
25. Теплообмен излучением в замкнутой системе из двух серых тел, разделенных диатермической средой.
26. Действие экранной теплоизоляции.
27. Излучение через окна печи.
28. Уравнение переноса энергии излучения в поглощающей и излучающей среде. Закон Бугера. Излучение газов.
29. Основные положения теории теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности в декартовых и

цилиндрических координатах.

30. Решение уравнения теплопроводности при стационарном режиме и граничных условиях первого рода для неограниченной пластины.

31. Решение уравнения теплопроводности при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода для неограниченной пластины.

32. Решение уравнения теплопроводности при стационарном режиме и граничных условиях первого рода для цилиндрической стенки бесконечной длины.

33. Решение уравнения теплопроводности при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода для цилиндрической стенки бесконечной длины.

34. Решение уравнения теплопроводности при нестационарном режиме и граничных условиях третьего рода для неограниченной пластины.

35. Решение уравнения теплопроводности при нестационарном режиме и граничных условиях первого рода для неограниченной пластины.

36. Использование закономерностей регулярного теплового режима для экспериментального определения теплофизических свойств материалов и коэффициента теплоотдачи.

37. Основные виды топлива и их характеристика. Состав и теплота сгорания топлива. Условное топливо.

38. Кинетическое горение топлива. Факел и фронт пламени. Коэффициент расхода воздуха.

39. Диффузионное горение топлива.

40. Расчет горения топлива.

41. Классификация, конструкции, принцип работы и схема выбора устройств для сжигания топлива.

42. Теплогенерация за счет выгорания примесей металла и шихты. Тепловой и топливный эквиваленты шихты.

43. Выбор электронагревателей и схема их расчета.

44. Классификация огнеупорных материалов.

45. Физические свойства огнеупоров.

46. Рабочие свойства огнеупоров и их лабораторное определение.

47. Неформованные огнеупорные и теплоизоляционные материалы.

48. Элементы конструкции металлургических печей: фундамент, каркас, футеровка, водоохлаждаемые элементы, технологические отверстия.

49. Классификация печей по энергетическому признаку.

50. Температурный и тепловой режимы работы печи. Производительность печи. Удельный расход топлива и электроэнергии.

51. Коэффициент полезного теплоиспользования, коэффициент использования топлива.

52. Тепловой баланс печи. Статьи прихода теплоты.

53. Тепловой баланс печи. Статьи расхода теплоты.

54. Виды вторичных энергоресурсов и методы их использования. Способы утилизации теплоты дыма.

55. Металлические радиационные рекуператоры: конструкции и основные характеристики.

56. Металлические конвективные рекуператоры: конструкции и основные характеристики.

57. Керамические рекуператоры: конструкции и основные характеристики.

58. Общая теория и расчет рекуператоров.

59. Устройство и работа котлов-утилизаторов.

60. Конструкция и тепловая работа коксовой батареи.

61. Конструкция и тепловая работа доменной печи.

62. Конструкция и тепловая работа конвертера.

63. Конструкция и тепловая работа дуговой сталеплавильной печи.

64. Конструкция и тепловая работа печи сопротивления косвенного действия.

65. Методическая нагревательная печь. Конструкция и тепловая работа.

66. Садочная термическая печь. Конструкция и тепловая работа.

67. Конструкция и тепловая работа индукционной печи.

68. Конструкция и тепловая работа печи для кислородно-факельной плавки.

69. Печь Ванюкова для плавки руд и концентратов. Конструкция и тепловая работа.

70. Вращающаяся печь для нагрева сыпучих материалов. Конструкция и тепловая работа.

71. Печь для обжига материала в кипящем слое. Конструкция и тепловая работа.

72. Перспективные тепловые агрегаты металлургии.

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.

Текущий контроль успеваемости включает в себя задания для самостоятельного выполнения и контрольные мероприятия.

Домашнее задание № 1 по разделу 1

Домашнее задание № 2 по разделам 2,3,4

Тест по разделу 1

Тест по разделу 2

Тест по разделу 3

Тест по разделу 4

Тест по разделу 5

Тест по разделу 6

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен не предусмотрен.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

ШКАЛА ОЦЕНИВАНИЯ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ:

Оценка "зачтено" - задания выполнены полностью, расчеты выполнены верно, технически грамотно оформлены.
 Оценка "не зачтено" - задания выполнены не в полном объеме, допущены ошибки в расчете и имеются недочеты в оформлении заданий.

Промежуточная аттестация по дисциплине предусмотрена в форме экзамена.

При сдаче контрольной работы предусмотрена система оценивания по пятибалльной системе.

Для успешной сдачи контрольной работы необходимо грамотно и верно ответить на теоретические вопросы или решить задачу.

ШКАЛА ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ:

Оценка «отлично» - обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу.

Оценка «хорошо» - обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно» - обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

Оценка «неудовлетворительно» - обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Э1	Курс "Теплофизика" в LMS Canvas	https://lms.misis.ru
Э2	Курс "Теплотехника" в LMS Canvas	https://lms.misis.ru

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	MS Office,
П.2	MS Teams.

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных**7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Ауд.	Назначение	Оснащение
2	Теплофизика и теплотехника	компьютер, проектор, экран, интерактивная доска
6	Теплофизика. Теплотехника	комплект тематических презентаций, доступ к Компьютеры, доступ к интернету

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Весь курс разделен на самостоятельные взаимосвязанные части, т.е. имеет модульное построение. Развитие самостоятельности студентов достигается индивидуализацией домашних заданий.

Лекции проводятся с использованием мультимедийных технологий в специально оборудованных аудиториях, при этом лекционный материал демонстрируется с использованием графического редактора Power Point.

На практических занятиях и при выполнении домашних заданий осваиваются как классические методы решения задач, так и с использованием пакетов прикладных программ. Такая возможность обеспечивается рациональным использованием времени при проведении лекций и практических занятий с широким привлечением мультимедийной техники, и современных пакетов прикладных программ.

Дисциплина требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.

Для успешного освоения дисциплины обучающемуся необходимо:

1. Посещать все виды занятий.
2. Своевременно зарегистрироваться на рекомендованные электронные ресурсы - LMS Canvas и MS Teams.
3. При возникновении любых вопросов по содержанию курса и организации работы своевременно обращаться к преподавателю (в часы очных консультаций, через MS Teams или LMS Canvas).
4. Иметь доступ к компьютеру, подключенному к сети Интернет.

Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей аттестации на LMS Canvas.