

Документ подписан простав в электронном виде  
Информация: Выксунский филиал  
ФИО: Кудашов Дмитрий Викторович  
Должность: Директор Выксунского филиала НИТУ «МИСиС»  
Дата подписания: 15.12.2022 14:48:10  
Уникальный программный ключ:  
619b04177227a6c5ca9c00aabb42f2de121f088

Рабочая программа утверждена  
решением Учёного совета  
ВФ НИТУ МИСиС  
от «31» августа 2020г.  
протокол № 1-20

## Рабочая программа дисциплины (модуля) Теплофизика и теплотехника

Закреплена за кафедрой	Общепрофессиональных дисциплин
Направление подготовки	22.03.02 Metallургия
Профиль	Metallургия черных металлов
Квалификация	<b>Бакалавр</b>
Форма обучения	<b>очная</b>
Общая трудоемкость	<b>4 ЗЕТ</b>
Часов по учебному плану	144 Формы контроля в семестрах:
в том числе:	зачет с оценкой 4 семестр
аудиторные занятия	72
самостоятельная работа	72

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	4 (2.2)		Итого	
	УП	РП		
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	36	36	36	36
Практические	36	36	36	36
Итого ауд.	72	72	72	72
Контактная работа	72	72	72	72
Сам. работа	72	72	72	72
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*ктн, Проф., Прибытков Иван Алексеевич; ктн, Доц., Шатохин Константин Станиславович*

Рабочая программа

**Теплофизика и теплотехника**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия (уровень бакалавриата) (приказ от 02.12.2015 г. № 602 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.02 Metallургия , ЭМ-19.plx Metallургия черных металлов, утвержденного Ученым советом ВФ НИТУ "МИСиС" 28.02.2019, протокол № 6-19

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Общепрофессиональных дисциплин**

Протокол от 26.06.2020 г., №10

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.В
-------------------	------

- |            |   |
|------------|---|
| <b>2.1</b> | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>  |
| 2.1.1      | Физика  |
| 2.1.2      | Химия   |
| 2.1.3      | Математика  |
| <b>2.2</b> | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |
| 2.2.1      | Научно-исследовательская работа   |

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

**ПК-1.4: готовность использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, переноса тепла и массы**

**Знать:**

ПК-1.4-31 базовые понятия и закономерности раздела физики, объясняющего теплообменные процессы

ПК-1.4-32 принципы составления теплового баланса металлургических печей

ПК-1.4-33 конструкции и тепловую работу металлургических печей

ПК-1.4-34 основные закономерности процессов тепло- и массопереноса, механики жидкостей газов применительно к технологическим процессам в тепловых агрегатах черной и цветной металлургии

ПК-1.4-35 закономерности протекания процессов генерации теплоты и её переноса в конкретных технологических агрегатах для получения и обработки различных металлов и сплавов

**Уметь:**

ПК-1.4-У1 рассчитывать приход тепловой энергии, составлять тепловой баланс

ПК-1.4-У2 рассчитывать процессы горения топлива

ПК-1.4-У3 рассчитывать тепловые балансы металлургических печей

ПК-1.4-У4 рассчитывать и анализировать процессы внешнего и внутреннего теплообмена в печах различного технологического назначения и элементах их конструкций

**Владеть:**

ПК-1.4-В1 аналитическими и численными методами решения систем теплофизических уравнений

ПК-1.4-В2 методами анализа и численными методами, вычислительной техникой при решении прикладных задач в области гидрогазодинамики и теплообмена

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература и эл. ресурсы	Примечание
	<b>Раздел 1. Гидрогазодинамика</b>					
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. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
1.2	Уравнение Эйлера и Навье-Стокса. Режимы течения реальной жидкости. Критерий Рейнольдса. Постановка задачи для расчета движения жидкости. Статика жидкостей и газов. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	

1.3	Элементы теории гидродинамического пограничного слоя. Уравнения Прандтля. Уравнение потока импульса для пограничного слоя (Уравнение Кармана). /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
1.4	Расчет ламинарного пограничного слоя на основе интегрального метода. Уравнение Бернулли для струйки тока идеальной жидкости и для потока реальной жидкости. Расчет потерь давления на трение и на местные сопротивления. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
1.5	Особенности струйного течения. Изменение основных характеристик осесимметричной турбулентной струи (давления, потоков импульса и кинетической энергии, осевой скорости, объемного расхода) по ее длине. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
1.6	Течение реальной жидкости по трубам и каналам. Потери на трение и местные сопротивления. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
1.7	Течение жидкости в ламинарном пограничном слое. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
1.8	Течение жидкости в турбулентном пограничном слое. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
1.9	Расчет процесса истечения газа из сопел. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
1.10	Исследование уравнения Бернулли /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.1Л2.2 Л2.3	
1.11	Определение коэффициентов трения и местного сопротивления при движении воздуха в трубе /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.1Л2.2 Л2.3	
1.12	Определение коэффициентов истечения из отверстий и насадков различной среды /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.1Л2.2 Л2.3	
1.13	Исследование свободной затопленной и полугораниченной газовых струй /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.1Л2.2 Л2.3	
1.14	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. Выполнение домашнего задания №1 /Ср/	4	10	ПК-1.4	Л1.1 Л1.3Л2.2 Л2.3	
<b>Раздел 2. Конвекция</b>						
2.1	Основные положения переноса теплоты. Три вида теплообмена. Основные понятия конвективного теплопереноса, дифференциальное уравнение конвективной теплоотдачи. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
2.2	Дифференциальное уравнение энергии Фурье-Кирхгофа и его решение. Тепловой пограничный слой, критерий Прандтля. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
2.3	Тепловой пограничный слой и его расчет при ламинарном режиме течения жидкости. Уравнения конвективной теплоотдачи при вынужденном движении в безразмерном (критериальном) виде и особенности их использования при практических расчетах. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	

2.4	Конвективная теплоотдача при свободном движении. Уравнения конвективной теплоотдачи при свободном движении в безразмерном (критериальном) виде и особенности их использования при практических расчетах. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
2.5	Применение методов теории подобия для приведения исходных уравнений к безразмерному виду. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
2.6	Теплоотдача и массоотдача при вынужденном продольном обтекании плоской поверхности. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
2.7	Определение коэффициентов теплоотдачи при вынужденном турбулентном движении жидкости в трубе /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
2.8	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. Выполнение домашнего задания №2 /Ср/	4	10	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
<b>Раздел 3. Радиационный теплообмен</b>						
3.1	Основные понятия радиационного переноса теплоты. Количественные характеристики излучения. Законы излучения абсолютно черного тела. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
3.2	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 определение в простейших случаях. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
3.3	Зональный метод расчета радиационного теплообмена. Смешанная и фундаментальная постановки задачи. Замкнутая система из 2 серых тел, разделенных диатермической средой. Действие экранной теплоизоляции. /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
3.4	Зональный метод расчета радиационного теплообмена: излучение через окна печи. Радиационный теплообмен в системе серых тел, заполненных поглощающе-излучающей средой. Закон Бугера. Эффективная длина луча, формула Невского /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
3.5	Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
3.6	Теплообмен излучением в поглощающей среде. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
3.7	Излучение твердых тел /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
3.8	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. /Ср/	4	10	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
<b>Раздел 4. Теплопроводность</b>						
4.1	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. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	

4.2	Передача тепла при стационарной теплопроводности через цилиндрическую одно- и многослойную стенку при граничных условиях первого и третьего рода. Влияние наружного диаметра однородной цилиндрической стенки на ее суммарное линейное тепловое сопротивление. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
4.3	Нестационарная теплопроводность при граничных условиях первого и третьего рода. Общее решение уравнения нестационарной теплопроводности и его использование для случая термически массивных тел. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
4.4	Общее решение уравнения нестационарной теплопроводности и его использование для случая термически тонких тел. /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
4.5	Регулярный тепловой режим и экспериментальное определение теплофизических свойств веществ, коэффициента теплоотдачи. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.3	
4.6	Теплопроводность и молекулярная диффузия при стационарном режиме. /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
4.7	Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя (стационарный режим теплопроводности). /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
4.8	Нагрев твердых тел /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
4.9	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. /Ср/	4	10	ПК-1.4	Л1.3Л2.2 Л2.3	
	<b>Раздел 5. Топливо и его горение. (Теплогенерация)</b>					
5.1	Энергетическая сущность производственных процессов. Создание научных основ теплотехники и промышленного печестроения. Классификация топлива, показатели его качества. Кинетический и диффузионный режимы горения топлива. Расчёт калориметрической, теоретической и действительной температуры /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
5.2	Конструкции и схемы выбора устройств для сжигания топлива. Тепловые эквиваленты сырьевых материалов шихты. Генерация теплоты за счёт электрической энергии. Классификация, физические и эксплуатационные свойства огнеупоров /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
5.3	Расчёт горения газообразного и жидкого топлива. Контрольная работа /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3Л2.1	
5.4	Определение теплоты сгорания газообразного топлива. /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.2	
5.5	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. Выполнение домашнего задания №3 /Ср/	4	10	ПК-1.4	Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1	
	<b>Раздел 6. Огнеупорные и строительные материалы печей</b>					
6.1	Принципы выбора материала огнеупорной кладки. Огнеупорные растворы, массы, бетоны. Выбор теплоизоляционных материалов. Строительные элементы печей: фундамент, кладка, каркас. /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
6.2	Тепловой расчёт многослойного ограждения печей при стационарном или нестационарном тепловом режиме. Контрольная работа /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	

6.3	Определение плотности и газопроницаемости огнеупорных материалов. /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
6.4	Определение термостойкости и шлакоустойчивости огнеупорных материалов /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
6.5	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. /Ср/	4	10	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
	<b>Раздел 7. Конструкции и тепловая работа печей</b>					
7.1	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. /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.2	Шахтные печи. Особенности теплообмена в слое. Движение газов и шихты. Водяные эквиваленты кусковых материалов и газов. Типичное изменение температуры по высоте шахтной печи. Тепловые процессы в зоне фурм. Газогенераторный и топочный режимы работы шахтных печей цветной металлургии. Способы интенсификации тепловой работы шахтных печей. Конвертеры чёрной и цветной металлургии. Особенности конвертирования медных штейнов: периоды накопления и потребления теплоты. /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.3	Способы интенсификации тепловой работы подовых сталеплавильных агрегатов. Отражательные печи для плавки на штейн. Конструкция, тепловой и температурный режимы. Внешняя и внутренняя задачи теплообмена в отражательной печи. Теплотехнические основы рациональной технологии нагрева металла перед обработкой давлением. /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.4	Тепловая работа и конструкции методических печей толкательного типа и с шагающими балками (подом). Реализация скоростного конвективного нагрева металла. Характеристика основных печей для нагрева металла под термообработку. Конструкция печей для обжига сульфидных концентратов в кипящем слое. Основы аэродинамического расчёта кипящего слоя. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.5	Тепловой и температурный режимы процесса обжига. Принципы работы и конструкции трубчатых вращающихся печей. Тепловой и температурный режимы нагрева сыпучих материалов. Электрические печи цветной металлургии. Методы использования вторичных энергоресурсов. Способы утилизации теплоты дыма. /Лек/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.6	Конструкции и особенности тепловой работы регенераторов. Общая теория и расчёт рекуператоров. Способы очистки дымовых газов металлургического производства. /Лек/	4	1	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.7	Расчёт теплового баланса рабочего пространства печи. /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.8	Тепловой расчёт металлического прямотрубного рекуператора и определение его конструктивных характеристик /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	

7.9	Расчёт конического сопла или сопла Лаваля для сожигательных устройств. Контрольная работа /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.10	Регулярный тепловой режим /Пр/	4	1	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.11	Тепловой баланс электропечи сопротивления. /Пр/	4	2	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	
7.12	Проработка лекционного материала, материала практических занятий. /Ср/	4	12	ПК-1.4	Л1.3 Л1.4Л2.1	

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ (Приложение)

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

#### 6.1. Рекомендуемая литература

##### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Арутюнов В.А., Левицкий И.А., Шибалов С.Н., Капитанов В.А.	Теплофизика, теплотехника, теплообмен: Механика жидкостей и газов: Лабораторный практикум	Методические пособия	Москва, 2007
Л1.2	Арутюнов В.А., Капитанов В.А., Левицкий И.А., Шибалов С.Н.	Теплофизика, теплотехника, теплообмен: Тепломассоперенос. Топливо и огнеупоры. Тепловая работа печей: Лабораторный практикум	Методические пособия	Москва, 2007
Л1.3	Кривандин В.А., Арустамов В.А., Матрюков Б.С. Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Матрюков Б.С.	Металлургическая теплотехника .В 2томах.Т1. Теоретические основы: учебник	Электронный каталог	Москва Metallurgia, 1986
Л1.4	Кривандин В.А., Арустамов В.А., Матрюков Б.С. Кривандин В.А., Неведормская И.Н, Кобахидзе В.В.	Металлургическая теплотехника .В 2томах.Т2. Конструкция и работа печей: учебник	Электронный каталог	Москва Metallurgia, 1986

##### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Сборщиков.	Теплотехника. Расчет и конструирование элементов промышленных печей: Учебно-методическое пособие	Методические пособия	Москва, 2004
Л2.2	Тимофеева А.С., Федина В.В.	Справочник теплофизика-металлурга: учебное пособие	Электронный каталог	старый Оскол Роса, 2008
Л2.3	Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Белоусов В.В.	Теплотехника металлургического производства. Т.1. Теоретические основы: учебное пособие	Электронный каталог	Москва МИСиС, 2002

#### 6.3 Перечень лицензионного программного обеспечения

П.1	Windows
П.2	Microsoft Office
П.3	антивирусное ПО Dr.Web
П.4	MS Teams

#### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
------	------------	-----------



4	Теплофизика и теплотехника	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, текущего контроля, индивидуальных консультаций, промежуточной аттестации, групповых консультаций: доска классическая, доска интерактивная, компьютер с доступом к сети "Интернет" (1 шт.), проектор (1 шт.), экран (1 шт.), рабочее место преподавателя, стол (16 шт.), стул (32 шт.) ПО:Windows 7 Professional, Microsoft Office 2007, антивирусное ПО Dr.Web, MS Teams, Visual Studio, комплект тематических презентаций
46	Теплофизика и теплотехника	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся, имеется подключение к сети "Интернет" и доступ в электронную информационно-образовательную среду: доска классическая, компьютер с доступом к сети "Интернет" (16 шт.), проектор (1 шт.), экран (1 шт.), рабочее место преподавателя, стол (16 шт.), стул (32 шт.) ПО:Windows 7 Professional, Microsoft Office 2007, Компас, антивирусное ПО Dr.Web, MS Teams, Visual Studio

### 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 занятий 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. При возникновении любых вопросов по содержанию курса и организации работы своевременно обращаться к преподавателю.
3. Иметь доступ к компьютеру, подключенному к сети Интернет.

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