

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

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

<b>Код модуля</b>	<b>Модуль</b>
1149986	Теория теплотехнических процессов

**Екатеринбург**

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Metallurgy	<b>Код ОП</b> 1. 22.03.02/33.02
<b>Направление подготовки</b> 1. Metallurgy	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 22.03.02

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Гольцев Владимир Арисович	кандидат технических наук, доцент	Доцент	теплофизики и информатики в металлургии

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Теория теплотехнических процессов

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят дисциплины «Тепло- и массообмен», «Газодинамика в металлургических агрегатах», «Теория и практика теплогенерации». Цель модуля – изучить процессы теплообмена в типовых металлургических переделах, а также с подходы к их математическому описанию, приобрести навыки математического описания теплофизических процессов типовых технологий металлургии и теплоэнергетики, анализа связей закономерностей теплообмена и технико-экономических показателей работы агрегатов, изучить процессы газодинамики типовых металлургических агрегатов и установок теплоэнергетики. Изучение и понимание законов переноса тепловой энергии и массы вещества требуется для достижения высокой эффективности любой технологии, связанной с тепло- и массообменными процессами, в том числе и металлургической. Особую роль явления тепломассопереноса играют в пирометаллургии: от степени их развития зависят технико-экономические показатели работы агрегатов, себестоимость продукции. Знание основных положений газодинамики является условием для качественного выполнения профессиональной деятельности. Данный курс позволяет студентам понять газодинамические режимы в промышленной печи и негативное влияние их нарушения на количественные и качественные показатели технологического процесса, приобрести знания по элементам конструкции, используемых в промышленных печах; изучить принципы газораспределения в них. Дисциплина «Теория и практика теплогенерации» направлена на изучение современных методов, используемых при разработке устройств для организации процессов безопасного сжигания различных видов топлив. Изучение дисциплины предусматривает закрепление студентами теоретического знаний и получение практических умений реализации проектов по созданию различных конструкций топливосжигающих устройств и иных способов получения тепловой энергии.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Газодинамика в металлургических агрегатах	3
2	Тепло- и массообмен	8
3	Теория и практика теплогенерации	3
ИТОГО по модулю:		14

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Не предусмотрены

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

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Газодинамика в металлургических агрегатах	ПК-16 - Способен на основе анализа теплотехнических процессов разрабатывать предложения и рекомендации по их совершенствованию.	<p>З-1 - Характеризовать основные понятия, связанные с газодинамическими процессами в металлургических агрегатах.</p> <p>З-2 - Описывать статистические методики при проведении инженерного эксперимента по газодинамике печных агрегатов, математические и численные модели для анализа теплотехнических процессов и обработки полученных данных.</p> <p>У-1 - Оценивать достоверность результатов инженерного эксперимента для эффективного применения статистических методов и корректной обработки полученных данных.</p> <p>У-2 - Определять алгоритм применения математического моделирования процессов газодинамики для анализа, обработки и обобщения данных инженерного эксперимента.</p> <p>П-1 - Предлагать методы интенсификации газодинамических процессов в промышленных печах на основе анализа и обработки данных инженерного эксперимента с применением статистических методов, и математического моделирования процессов газодинамики.</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитическое мышление.</p>
Теория и практика теплогенерации	ПК-15 - Способен осуществлять теплотехническое сопровождение основных и вспомогательных операций при производстве и	<p>З-3 - Сформулировать основные положения теории горения топлива и генерации тепловой энергии из различных источников.</p> <p>З-4 - Классифицировать различные виды топлив по физическим и химическим свойствам и топливосжигающие устройства.</p>

	<p>обработке черных и цветных металлов.</p>	<p>У-2 - Выбирать режимы работы топливосжигающих устройств для эффективной реализации конкретного технологического процесса.</p> <p>У-3 - Определять в соответствии с методикой последовательность расчета процесса сжигания различных видов топлива и выход продуктов сгорания, теоретическую и балансовую температуры горения.</p> <p>П-2 - Осуществлять подбор топливосжигающих устройств и их поверочный расчет для газообразного и жидкого топлива, используя методику расчета горения топлива.</p>
<p>Тепло- и массообмен</p>	<p>ПК-16 - Способен на основе анализа теплотехнических процессов разрабатывать предложения и рекомендации по их совершенствованию.</p>	<p>З-2 - Описывать статистические методики при проведении инженерного эксперимента по газодинамике печных агрегатов, математические и численные модели для анализа теплотехнических процессов и обработки полученных данных.</p> <p>З-3 - Объяснять основные понятия, связанные с тепло – и массообменными процессами в металлургических агрегатах.</p> <p>У-2 - Определять алгоритм применения математического моделирования процессов газодинамики для анализа, обработки и обобщения данных инженерного эксперимента.</p> <p>П-2 - Разрабатывать рекомендации по оптимизации времени проведения теплотехнических операций и снижению расходов топлива и электроэнергии в промышленных печах на основе анализа и обработки данных инженерного эксперимента с применением статистических методов и математического моделирования процессов тепломассопереноса – расчета температурных полей.</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Газодинамика в металлургических**  
**агрегатах**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Шаврин Владимир Сергеевич	кандидат технических наук, доцент	Доцент	теплофизики и информатики в металлургии

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Новых материалов и технологий**

Протокол № 20210531-01 от 31.05.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Шаврин Владимир Сергеевич, Доцент, теплофизики и информатики в металлургии

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Основные понятия и характеристики теории газодинамики в металлургических агрегатах	Роль процессов теории газодинамики в металлургических агрегатах Современное состояние и перспективы развития инженерных направлений в газодинамике Средства автоматизации решения задач газодинамики в металлургических агрегатах.
2	Уравнения движения жидкости и газа	Напряжение в движущейся жидкости. Соотношения между напряжениями и скоростями деформации для ньютоновских жидкостей. Баланс импульса. Уравнения Навье-Стокса и граничные условия. Различные формы записи уравнений Навье-Стокса при описании движения газа в металлургических печах. Примеры решения уравнений Навье-Стокса: ламинарное течение между параллельными пластинами и в круглой трубе постоянного диаметра. Коэффициенты Кориолиса и Буссинеска. Уравнение Бернулли как следствие потенциальности течения. Уравнение Бернулли для линии и трубки тока. Запись уравнения в относительных давлениях применительно к движению газа в металлургических печах. Примеры течений без трения: истечение жидкости (газа) из сосуда через короткий насадок, измерение скорости потока трубкой Пито, обтекание цилиндрических тел.
3	Основы теории подобия и размерностей	Значение теории подобия. Геометрическое подобие. Динамическое подобие. Числа подобия (Струхала, Фруда, Эйлера, Рейнольдса) и их физический смысл. Анализ размерностей параметров механики жидкости и газа, 7Г-

		теорема. Получение чисел гидродинамического подобия методом анализа размерностей, определяющие и определяемые числа подобия. Автомодельность. Основные принципы физического моделирования металлургических печей и установок. Зависимость степеней свободы при моделировании от количества определяющих чисел подобия. Точное и приближенное подобие.
4	Возникновение турбулентности и турбулентные касательные напряжения	Физические основы передачи теплоты теплопроводностью: закон Фурье, коэффициент теплопроводности, дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье. Краевые условия. Методы расчёта расхода теплоты. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме. Передача теплоты теплопроводностью через стенку. Теплоотдача стенок с источниками теплоты. Теплоотдача стержней.
5	Течение жидкости и газа в пограничном слое	Общие свойства пограничных слоев. Уравнения движения в пограничном слое. Характерные толщины пограничного слоя. Решение Блазиуса для ламинарного пограничного слоя, другие решения. Турбулентный пограничный слой на плоской поверхности. Локальные коэффициенты трения. Влияние кривизны границы и градиента давления. Отрыв пограничного слоя. Приближенные методы анализа установившихся пограничных слоев. Использование интегрального метода импульса Кармана для анализа течений в пограничном слое.
6	Истечение газов из сопел и отверстий	Общая постановка задачи. Истечение несжимаемого газа. Характеристика изоэнтропического истечения сжимаемого газа. Режимы истечения газов. Анализ совмещенных уравнений Бернулли и сплошности. Течение газа в сужающихся и расширяющихся каналах при больших давлениях. Критическое сечение. Расчет параметров истекающего газа и газодинамические функции при изоэнтропическом процессе. Работа сопла Лавеля при изоэнтропическом процессе. Область применения формул для несжимаемого газа и примеры расчетов течения. Истечение водяного пара. Турбулентные газовые струи Пристеночная и свободная турбулентность. Общность математического описания закономерностей течения в пограничном слое и развития аэродинамически свободной струи. Значение струйного движения в металлургической теплотехнике. Динамика плоской струи. Характерные участки, параметры. Уравнение сохранения количества движения, закономерности изменения толщины и осевой скорости. Функция подсоса, профили скорости. Осесимметричная струя, коэффициент перемежаемости. Ограниченные и полуограниченные струи; взаимодействия друг с другом и с поверхностью металла и стенок рабочего пространства печей. Соударение и перемешивание струй, турбулентные струи, развивающиеся в спутном потоке. Математическое моделирование движения газов в рабочем пространстве металлургических печей с учетом развития турбулентных струй. Физическое моделирование движения газов в топливосжигательных устройствах.



7	Струйная инжекция	Сущность инжекции. Уравнение инжекции. Конструктивные параметры инжекторов. Составление характеристики инжектора и экспериментальная проверка уравнения инжекции. Оптимальные параметры инжекторов. Область применения инжекторов, расчет инжекторов для инжекционных горелок и для усиления тяги дымовых труб.
8	Особенности движения газов в печах и устройства, приводящие газы в движение	Движение газа в рабочем пространстве печи. Циркуляция, ее организация. Уравнение Бернулли для неизотермических протоков. Правило деления потоков и область его применения. Закономерности распределения потоков в боровых и каналах регенераторов металлургических печей. Выбивание и подсос газов. Приведение в движение газов в печах. Тяга дымовой трубы. Работа и расчет дымовой трубы. Вентиляторы и дымососы, их устройство и теоретические основы работы. Связь производительности, давления и потребляемой мощности с окружной скоростью рабочего колеса. Работа вентилятора и сети. Регулирование расходов газа. Последовательная и параллельная работа вентиляторов. Подбор вентиляторов.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ПК-16 - Способен на основе анализа теплотехнических процессов разрабатывать предложения и рекомендации по их совершенствованию.	Д-1 - Демонстрировать аналитическое мышление.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Газодинамика в металлургических агрегатах

#### Электронные ресурсы (издания)

- Кураев, А. А.; Прикладная гидрогазодинамика : учебное пособие. 1. Гидродинамика; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2018; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=573832> (Электронное издание)
- Кураев, А. А.; Прикладная гидрогазодинамика : учебное пособие. 2. Газодинамика; Новосибирский

государственный технический университет, Новосибирск; 2018;  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574785> (Электронное издание)

3. ; Гидрогазодинамика (с элементами процессов и аппаратов) : учебное пособие.; Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара; 2015;  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438366> (Электронное издание)

### **Печатные издания**

1. , Швыдкий, В. С.; Механика жидкости и газа : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. бакалавров 550550 и дипломиров. специалистов 651300 "Металлургия" и 110300 "Теплофизика, автоматизация и экология пром. печей".; Академкнига, Москва; 2003 (245 экз.)

2. , Гуцин, С. Н., Юрьев, Б. П., Шаврин, В. С., Киселев, Е. В., Казяев, М. Д.; Гидравлический расчет трубопроводов и выбор тягодутьевых средств, обеспечивающих работу промышленных печей : учебное пособие.; УрФУ, Екатеринбург; 2011 (6 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

#### **Материалы для лиц с ОВЗ**

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

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

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

### **Газодинамика в металлургических агрегатах**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		<p>соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
3	Лабораторные занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p>	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
6	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Тепло- и массообмен**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Юрьев Борис Петрович	кандидат технических наук, доцент	Доцент	теплофизики и информатики в металлургии

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Новых материалов и технологий**

Протокол № 20210531-01 от 31.05.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Юрьев Борис Петрович, Доцент, теплофизики и информатики в металлургии

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Основные понятия и характеристики теории теплообмена	Роль процессов тепло – и массообмена в металлургии и теплоэнергетике. Современное состояние и перспективы развития инженерных направлений в теплотехнике. Средства автоматизации решения задач тепло – и массообмена
2	Теплообмен излучением в металлургических агрегатах (инженерный подход)	Расчёт теплообмена излучением. Типовые элементы теплотехнических агрегатов. Теплообмен излучением между системой поверхностей, разделённых диатермичной средой. Теплообмен излучением при наличии экранов. Расчёт потерь теплоты излучением через отверстия и окна печей. Учёт селективности излучения. Теплообмен излучением между системой поверхностей, разделённых излучающим и поглощающим газом.
3	Теплообмен излучением в металлургических агрегатах (методы расчёта)	Зональные методы расчёта теплообмена излучением. Классический зональный метод для системы поверхностей, разделённых излучающим и поглощающим газом при смешанной постановке задачи. Ограниченность классического метода. Два подхода к решению систем зональных уравнений, методы решения. Резольвентный зональный метод. Трудности расчёта обобщённых разрешающих угловых коэффициентов, их преодоление. Учёт конвективной составляющей теплообмена. Особенности теплообмена излучением в металлургических печах. Теплообмен излучением в пламенных печах. Излучение пламени и карбюризация факела. Излучение запылённых потоков.

4	Теплопроводность: общие закономерности. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме.	Физические основы передачи теплоты теплопроводностью: закон Фурье, коэффициент теплопроводности, дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье. Краевые условия. Методы расчёта расхода теплоты. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме. Передача теплоты теплопроводностью через стенку. Теплоотдача стенок с источниками теплоты. Теплоотдача стержней.
5	Нестационарная теплопроводность	Обобщённые переменные процессов нестационарной теплопроводности. Нагрев и охлаждение тел при граничных условиях I рода. Нагрев и охлаждение тел при граничных условиях II рода. Нагрев и охлаждение тел при граничных условиях III рода. Несимметричные задачи теплопроводности. Нагрев и охлаждение тел конечных размеров. Тепловые волны. Нагрев и охлаждение тел излучением.
6	Конвективный теплообмен в металлургических агрегатах	Общие сведения о конвективном теплообмене. Математическое описание конвективного теплообмена. Уравнение теплового пограничного слоя. Интегральное уравнение теплового пограничного слоя. Применение теории подобия к исследованию конвективного теплообмена. Теплоотдача при свободной конвекции. Характер свободного движения в большом объёме. Решение уравнений пограничного слоя для вертикальной пластины и горизонтального цилиндра. Приближённое решение задачи естественной конвекции на вертикальной пластине. Расчётные зависимости конвективного теплообмена в большом объёме. Теплообмен свободной конвекцией в ограниченном объёме. Конвективный теплообмен при вынужденном движении теплоносителей. Аналитические решения задачи конвективного теплообмена в каналах. Расчётные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи при движении потоков в каналах. Теплообмен при внешнем обтекании тел. Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел. Теплообмен в слое частиц. Сложный теплообмен. Конвективный теплообмен при кипении воды и конденсации водяного пара.
7	Теплообмен в слое кусковых материалов. Теплообменные аппараты.	Теплообмен в слое. Классификация слоевых сред. Проблемы описания теплообмена в плотном слое. Построение математической модели теплообмена в неподвижном слое (задача Т. Шумана). Решение В.Н. Тимофеева задачи Шумана. Примеры использования решения. Теплообмен в плотном слое при перекрёстном движении теплоносителей. Нагрев материала в плотном слое при прямоточном и противоточном движении теплоносителей. Теплотехнические параметры движущегося слоя. Зависимость характера теплообмена от отношения теплоёмкости потоков теплоносителей. Постановка и решение задачи. Анализ решения. Учёт тепловых эффектов физико-химических превращений. Нагрев и охлаждение термически массивных частиц в плотном движущемся слое. Учёт термической массивности по Б.И. Китаеву и Д.В. Будрину. Нестационарные аспекты теплообмена в слое, длительность переходных процессов. Основы теплового расчёта рекуператоров и регенераторов.

8	Основные положения и законы массопереноса.	Общие сведения. Дифференциальные уравнения конвективного массопереноса. Числа подобия конвективного массопереноса. Аналогия процессов переноса массы, теплоты и количества движения (импульса). Основные соотношения и модели массопереноса. Некоторые характерные массообменные процессы в металлургии. Тепло – и массообменные процессы при агломерации и обжиге окатышей. Массообмен при выплавке чугуна. Массообмен при разложении известняка. Основные уравнения моделей, их решения. Основные положения теории сушки. Кинетика и динамика процесса сушки. Тепло - и массообмен при сушке.
9	Методы численного анализа процессов тепломассопереноса.	Метод конечных разностей. Построение дискретных аналогов уравнений и краевых условий. Устойчивость численных схем. Явные и неявные численные схемы уравнения теплопроводности. Методы решения уравнений дискретных аналогов. Особенности построения дискретных аналогов уравнений конвективного теплообмена. Схемы "против потока". Трудности расчёта поля скоростей среды. Распространённые математические пакеты при решении задач тепломассопереноса.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская целенаправленная работа с информацией для использования в практических целях	Технология образования в сотрудничестве Технология самостоятельной работы	ПК-16 - Способен на основе анализа теплотехнических процессов разрабатывать предложения и рекомендации по их совершенствованию.	З-3 - Объяснять основные понятия, связанные с тепло – и массообменными процессами в металлургических агрегатах. П-2 - Разрабатывать рекомендации по оптимизации времени проведения теплотехнических операций и снижению расходов топлива и электроэнергии в промышленных печах на основе анализа и

				обработки данных инженерного эксперимента с применением статистических методов и математического моделирования процессов теплообмена – расчета температурных полей.
--	--	--	--	---

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тепло- и массообмен**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Дьяконов, В. Г., Шевчук, Л. Г.; Основы теплопередачи и массообмена : учебное пособие.; Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань; 2015; <http://www.iprbookshop.ru/63714.html> (Электронное издание)
2. ; Теплообмен: теория и практика : учебник.; Инфра-Инженерия, Москва, Вологда; 2021; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=618549> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Телегин, А. С., Швыдкий, В. С., Ярошенко, Ю. Г.; Теплообмен : Учеб. пособие для вузов.; Металлургия, Москва; 1995 (58 экз.)
2. Юрьев, Б. П.; Теплотехника и металлургические печи: Теплопередача. Теплопроводность : Конспект лекций для студентов заоч. обучения металлург. фак. всех спец.; УПИ, Свердловск; 1976 (2 экз.)
3. Швыдкий, В. С., Ладыгичев, М. Г., Шаврин, В. С.; Математические методы теплофизики : Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей".; Машиностроение-1, Москва; 2001 (13 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

#### **Материалы для лиц с ОВЗ**

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

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



### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Тепло- и массообмен

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Персональные компьютеры по количеству обучающихся Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
6	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теория и практика теплогенерации**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Лошкарев Николай Борисович	кандидат технических наук, доцент	Доцент	теплофизики и информатики в металлургии

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Новых материалов и технологий**

Протокол № 20210531-01 от 31.05.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Лошкарев Николай Борисович, Доцент, теплофизики и информатики в металлургии

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Теплогенерация при выделении химической энергии органического топлива	Место и роль данного курса среди других дисциплин. Задача курса, общая характеристика содержания. Порядок контроля усвоения материала. Общие сведения о составах и свойствах твердых жидких и газообразных топлив. Модели горения твердого, жидкого и газообразного топлива. Принципы и методы сжигания топлив различного агрегатного состояния. Методика расчета горения твердого топлива. Методика расчета горения жидкого топлива. Методика расчета горения газообразного топлива. Понятия о температуре горения и методы ее расчета на основе составления теплового баланса процесса горения. Основы теории горения топлива. Горение твердого топлива. Горение жидкого топлива. Горение газообразного топлива. Общие характеристики горения газообразного топлива.
2	Топливосжигающие устройства тепловых агрегатов	Терминология, понятия и определения. Классификация топливосжигающих устройств и общие принципы их выбора и расчета. Газовые горелки. Жидкотопливные горелки (форсунки). Устройства для сжигания твердого топлива. Общие принципы выбора и расчета топливосжигающих устройств. Газовые горелки без предварительного перемешивания топлива и воздуха. Горелки с частичным внутренним перемешиванием топлива и воздуха. Горелки с полным предварительным перемешиванием топлива и воздуха. Горелки с регулируемыми характеристиками факела. Современные направления в развитии конструкций газовых

		горелок (рекуперативные, регенеративные, скоростные горелки). Жидкотопливные форсунки низкого давления. Форсунки высокого давления, Механические форсунки.
3	Теплогенерация при использовании электрической энергии	Физико-химические основы экзотермических реакций. Теплогенерация в технологических процессах черной металлургии. Теплогенерация в технологических процессах цветной металлургии. Физические основы превращения электрической энергии в тепловую. Принцип расчета электрических нагревателей. Требования к материалам нагревателей. Металлические нагреватели. Металлокерамические нагреватели. Карборундовые нагреватели. Использование технологических материалов в качестве электрического сопротивления. Электронагрев в жидких средах. Физические основы электромагнитной теплогенерации. Конструкции и принцип расчета индукторов. Установки для поверхностной закалки. Установка для сквозного нагрева. Теоретические основы возникновения электрической дуги. Особенности дуги переменного и постоянного тока. Электрическая дуга как источник тепловой энергии. Особенности горения дуги в вакууме. Промышленное использование электродуговой теплогенерации. Теоретические основы образования плазмы. Процессы происходящие в плазме. Принцип действия плазмотронов. Промышленное использование плазменной теплогенерации. Теоретические основы электро-лучевой теплогенерации. Формирование электронного луча. Принцип действия электронных пушек. Промышленное использование электро-лучевой теплогенерации.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности Технология самостоятельной работы	ПК-15 - Способен осуществлять теплотехническое сопровождение основных и вспомогательных операций при производстве и обработке черных и цветных металлов.	3-3 - Сформулировать основные положения теории горения топлива и генерации тепловой энергии из различных источников. 3-4 - Классифицировать различные виды топлив по физическим и химическим

				<p>свойствам и топливосжигающие устройства.</p> <p>У-2 - Выбирать режимы работы топливосжигающих устройств для эффективной реализации конкретного технологического процесса.</p> <p>У-3 - Определять в соответствии с методикой последовательность расчета процесса сжигания различных видов топлива и выход продуктов сгорания, теоретическую и балансовую температуры горения.</p> <p>П-2 - Осуществлять подбор топливосжигающих устройств и их поверочный расчет для газообразного и жидкого топлива, используя методику расчета горения топлива.</p>
--	--	--	--	--

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Теория и практика теплогенерации**

**Электронные ресурсы (издания)**

1. Бирюков, А. Б.; Сжигание и термическая переработка твердых топлив : учебное пособие.; Инфра-

Инженерия, Москва, Вологда; 2021; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=618434> (Электронное издание)

2. ; *Металлургическая теплотехника : учебное пособие.*; Инфра-Инженерия, Москва, Вологда; 2021; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617615> (Электронное издание)

3. Батраков, П. А.; *Физико-химические основы сжигания топлива : учебное пособие.*; Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Омск; 2019; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=682089> (Электронное издание)

4. Иссерлин, А. С.; *Газовые горелки : практическое пособие.*; Недра, Москва; 1966; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575110> (Электронное издание)

### **Печатные издания**

1. Брюханов, О. Н.; *Аэродинамика, горение и теплообмен при сжигании топлива : Справ. пособие.*; Недра. С.-Петербург. отд-ние, Санкт-Петербург; 1994 (1 экз.)

2. , Кутьин, В. Б., Лобанов, В. И.; *Топливосжигающие устройства : Учеб. пособие.*; УПИ, Свердловск; 1983 (7 экз.)

3. , Казяев, М. Д., Крючков, Ю. В., Кутьин, В. Б., Лобанов, В. И.; *Основы теории теплогенерации : Учебник для студентов металлург. специальностей вузов.*; УГТУ, Екатеринбург; 1999 (4 экз.)

4. Гущин, С. Н., Казяев, М. Д.; *Расчеты горения топлив : Учеб. пособие.*; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 1995 (1 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

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

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

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

### **Теория и практика теплогенерации**

### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Подключение к сети Интернет	
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES