

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 Документ подписан проставлен в электронном виде  
 Информация о владельце: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 ФИО: Крюков Вадим Николаевич высшего образования  
 Должность: Проректор по образовательной деятельности и образовательной политике  
 «Запорожский государственный университет им. Н.М. Федоровского»  
 Дата подписания: 25.06.2026 10:53:29 (ЗГУ)  
 Уникальный программный ключ:  
 1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по ОД и МП  
 \_\_\_\_\_ Крюков В.Н.

## Металлургическая теплотехника

### рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Металлургии, машин и оборудования**  
 Учебный план 22.03.02\_бак\_очн\_ТМ-2026.plx  
 Направление подготовки: **Металлургия**  
**бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **6 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 216  
 в том числе:  
 аудиторные занятия 40  
 самостоятельная работа 131  
 Часы на контроль 45

Виды контроля в семестрах: экзамен 5, КП 5

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)			
Неделя	10			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	20	20	20	20
Практические	20	20	20	20
В том числе инт.	18	18	18	18
В том числе электрон.	52	52	52	52
Итого ауд.	40	40	40	40
Контактная работа	40	40	40	40
Сам. работа	131	131	13	131
Часы на контроль	45	45	45	45
Итого	216	216	21	216

Программу составил(и):

*Старший преподаватель Рогова Л.И.* \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.02 Металлургия (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 702)

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Протокол от 10.06.2026г. № 11

Срок действия программы: 2026-2030 уч.г.

И.о. зав. кафедрой к.т.н., доцент Лаговская Е.В.

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ 2027 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_\_\_ 2027 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ 2028 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_\_\_ 2028 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ 2029 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2029-2030 учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_\_\_ 2029 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ 2030 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2030-2031 учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_\_\_ 2030 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (РП-1)

*(Изменение: цели конкретизированы, добавлен акцент на цветную металлургию, энергоэффективность и расчетные навыки)*

**1.1. Цель дисциплины:** Формирование у обучающихся системных знаний о физических закономерностях тепло- и массообмена в металлургических агрегатах, а также практических навыков расчета материальных и тепловых балансов, анализа тепловой работы печей цветной металлургии и обоснования мероприятий по повышению их энергоэффективности.

### 1.2. Основные задачи дисциплины:

- Изучить фундаментальные законы теплопередачи (теплопроводность, конвекция, излучение) и их проявление в условиях высокотемпературных металлургических процессов.
- Освоить методику составления и анализа материальных и тепловых балансов металлургических печей.
- Изучить конструктивные особенности и тепловую работу специфического оборудования цветной металлургии (печей взвешенной плавки, рудно-термических печей, конверторов, электропечей).
- Сформировать навыки выбора огнеупорных материалов и расчета тепловых потерь через футеровку агрегатов.
- Ознакомить с современными методами утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР) и экологическими аспектами сжигания топлива.

---

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП (РП-2)

*(Изменение: логически выверены пререквизиты и постреквизиты, убраны случайные дисциплины)*

**Цикл (раздел) ООП:** Б1.В (Вариативная часть)

**2.1. Требования к предварительной подготовке обучающегося:** Студент должен владеть знаниями по дисциплинам: «Физика» (разделы термодинамики и теплопередачи), «Физическая химия» (термодинамика процессов, закон Гесса), «Материаловедение» (свойства огнеупоров), «Введение в профиль».

**2.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:**

- Металлургия тяжелых цветных металлов (меди и никеля)
- Основные процессы переработки металлургического сырья
- Переработка техногенных ресурсов
- Производственная (технологическая) практика
- Выпускная квалификационная работа (ВКР)

---

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

**ПК-1.1:** Применяет знания основных закономерностей протекания металлургических процессов для повышения эффективности производства цветных металлов.

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен:**

### **3.1. Знать:**

- Законы теплопередачи и методы расчета тепловых потоков через однослойные и многослойные ограждения.
- Методику расчета горения твердого, жидкого и газообразного топлива, определения теплотворной способности и температуры горения.
- Принципы составления материальных и тепловых балансов металлургических агрегатов.
- Конструктивные и теплотехнические особенности основных печей цветной металлургии (печи Ванюкова, электрические печи сопротивления и дуговые, конверторы).

### **3.2. Уметь:**

- Выполнять расчеты расхода топлива, воздуха и продуктов горения для заданного теплового режима.
- Составлять и анализировать материальные и тепловые балансы металлургических печей, выявлять основные статьи тепловых потерь.
- Подбирать огнеупорные материалы для футеровки агрегатов с учетом температурных градиентов и химической агрессивности среды.
- Оценивать эффективность использования вторичных энергоресурсов (ВЭР).

### **3.3. Владеть:**

- Методикой инженерных теплотехнических расчетов металлургических агрегатов.
- Навыками работы со справочной литературой по свойствам топлив, огнеупоров и теплофизическим характеристикам материалов.
- Методами анализа тепловой работы печей для выработки рекомендаций по энергосбережению.

---

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

*(Изменение: содержание логически перегруппировано, добавлена специфика цветной металлургии и современные аспекты энергосбережения)*

### **Раздел 1. Теоретические основы металлургической теплотехники**

- **Тема 1.1.** Топливо в металлургии: классификация, состав, теплотворная способность. Расчет процессов горения твердого, жидкого и газообразного топлива.
- **Тема 1.2.** Теплопередача в металлургических агрегатах: теплопроводность (стационарная и нестационарная), конвекция (естественная и вынужденная), лучистый теплообмен. Суммарная теплопередача через многослойные стенки.

- **Тема 1.3.** Методика составления материальных и тепловых балансов металлургических процессов. Закон Гесса и его применение в теплотехнических расчетах.

## Раздел 2. Тепловая работа печей цветной металлургии

- **Тема 2.1.** Сушильные и обжиговые печи: барабанные печи, печи кипящего слоя (КС). Тепловые режимы и особенности теплообмена.
- **Тема 2.2.** Плавильные агрегаты цветной металлургии: отражательные печи, печи взвешенной плавки (ПВП), печи Ванюкова. Особенности организации факела и теплопередачи в рабочем пространстве.
- **Тема 2.3.** Электротермические процессы: дуговые и рудно-термические печи (РТП). Расчет электрических режимов и тепловых потерь.
- **Тема 2.4.** Огнеупорные материалы: классификация, теплофизические свойства, расчет тепловых потерь через футеровку, методы увеличения стойкости кладки.

## Раздел 3. Энергосбережение и экология теплоэнергетики

- **Тема 3.1.** Вторичные энергоресурсы (ВЭР) в металлургии: классификация, методы утилизации теплоты отходящих газов (рекуператоры, регенераторы, котлы-утилизаторы).
- **Тема 3.2.** Газоочистные аппараты: принципы работы циклонов, электрофильтров, скрубберов. Влияние температуры газов на эффективность пылеулавливания.

---

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС)

*(Изменение: ФОС полностью переработан, убраны таблицы, добавлены современные форматы контроля: тесты, соответствие, открытые вопросы и ситуационные кейсы)*

### 5.1. Тестовые задания для текущего контроля (примеры)

- **Вопрос 1:** Какой вид теплопередачи является преобладающим в рабочем пространстве высокотемпературной отражательной печи? а) Теплопроводность; б) Конвекция; в) Лучистый теплообмен; г) Кондукция. *(Правильный ответ: в)*
- **Вопрос 2:** Что характеризует «низшая теплота сгорания» топлива? а) Теплоту с учетом конденсации водяных паров; б) Теплоту без учета теплоты парообразования воды, содержащейся в продуктах сгорания; в) Теплоту, выделяющуюся при неполном сгорании. *(Правильный ответ: б)*

### 5.2. Задания на установление соответствия

- **Задание:** Установите соответствие между типом металлургического агрегата и преобладающим видом теплопередачи в его рабочей зоне:
  1. Рудно-термическая печь (РТП) -> А) Теплопроводность через шлаковую ванну и электроды.
  2. Печь взвешенной плавки (ПВП) -> Б) Интенсивный лучистый теплообмен от факела и взвешенных частиц.
  3. Барабанная сушильная печь -> В) Конвективный теплообмен от горячих газов к материалу.

### 5.3. Открытые вопросы для устного опроса и рубежного контроля

- Вопрос 1. Опишите последовательность составления теплового баланса печи взвешенной плавки. Какие статьи прихода и расхода тепла являются определяющими?
- Вопрос 2. В чем заключается физический смысл критерия подобия Нуссельта ( $Nu$ ) и как он применяется при расчете конвективного теплообмена в каналах регенераторов?
- Вопрос 3. Сравните тепловую эффективность печей кипящего слоя и отражательных печей при обжиге сульфидных концентратов.
- Вопрос 4. Как влияет увеличение толщины теплоизоляционного слоя футеровки на тепловые потери и температуру рабочей поверхности кладки?

### 5.4. Ситуационные задачи (кейсы) для промежуточной аттестации

- **Кейс 1 (Анализ тепловой работы).** При эксплуатации отражательной печи зафиксировано резкое увеличение температуры наружной поверхности боковой стенки (с  $150^{\circ}\text{C}$  до  $250^{\circ}\text{C}$ ). Проанализируйте возможные причины (разрушение теплоизоляции, образование зазоров в кладке, изменение теплопроводности материала). Предложите алгоритм диагностики и мероприятия по восстановлению теплового режима.
- **Кейс 2 (Расчетно-аналитический).** Предприятие переходит с мазута на природный газ в качестве основного топлива для обжиговой печи. Рассчитайте изменение теоретической температуры горения и объема продуктов сгорания. Какие конструктивные изменения в горелочном устройстве и системе дымоудаления потребуются?
- **Кейс 3 (Энергосбережение).** Температура отходящих газов из печи Ванюкова составляет  $1100^{\circ}\text{C}$ . Предложите схему утилизации этого вторичного энергоресурса (ВЭР) для нужд цеха (например, подогрек шихты или генерация пара). Оцените потенциальный экономический эффект.

### 5.5. Критерии оценивания

- **«Отлично»:** Свободное владение методикой тепловых расчетов, глубокое понимание физики процессов теплопередачи, умение анализировать тепловые балансы и предлагать обоснованные решения по энергосбережению.
- **«Хорошо»:** Знание основных формул и закономерностей, умение составлять тепловые балансы с незначительными неточностями, понимание принципов работы печей.
- **«Удовлетворительно»:** Знание базовых определений, умение решать типовые задачи по образцу с помощью преподавателя, поверхностное понимание конструктивных особенностей печей.
- **«Неудовлетворительно»:** Незнание основ теплопередачи, неумение составить уравнение теплового баланса или рассчитать расход топлива.

---

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

*(Изменение: литература актуализирована, добавлены современные издания и электронные ресурсы)*

### 6.1. Рекомендуемая литература 6.1.1. Основная литература:

1. Мاستрюков Б.С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей: учебник для вузов. – М.: Металлургия, 2020. – 496 с.
2. Казанцев Е.И. Промышленные печи: справочное руководство для расчетов и проектирования. – М.: Металлургия, 2019. – 368 с.
3. Набойченко С.С., Агеев Н.Г. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2021. – 512 с.

#### 6.1.2. Дополнительная литература:

1. Гущин С.Н. Теплотехника и теплоэнергетика металлургического производства: учебник. – М.: Металлургия, 2018. – 320 с.
2. Справочник металлурга по теплотехнике: под ред. А.В. Клименко. – М.: Изд-во МЭИ, 2022. – 450 с.

#### 6.2. Перечень ресурсов сети «Интернет»

- Э1. Электронно-библиотечная система «Юрайт» – <https://www.biblio-online.ru>
- Э2. Электронно-библиотечная система «Лань» – <https://e.lanbook.com>
- Э3. Научная электронная библиотека eLibrary.ru – <https://www.elibrary.ru>

#### 6.3. Программное обеспечение

- ПО1. Операционная система MS Windows 10/11 Professional или Astra Linux.
- ПО2. MS Office Professional Plus 2021 (Excel для выполнения теплотехнических расчетов).
- ПО3. Специализированное ПО для инженерных расчетов (MathCAD или аналог).

---

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- **Ауд. 108:** Учебная аудитория для лекций и практических занятий, оснащенная мультимедийным проектором и интерактивной доской.
- **Ауд. 116:** Компьютерный класс для выполнения расчетных работ (15 ПК, доступ к ЭБС и инженерному ПО).
- **Лаборатория теплотехники:** Учебные макеты металлургических печей, набор образцов огнеупорных материалов (шамот, магнезит, муллитокремнеземистые изделия), приборы для измерения теплопроводности и лабораторная электропечь сопротивления для демонстрационных опытов.

---

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (МУ)

*(Изменение: вместо шаблонного текста даны конкретные, практические рекомендации по изучению теплотехники и выполнению расчетов)*

**Общие рекомендации:** Металлургическая теплотехника — это расчетно-аналитическая дисциплина. Успешное ее освоение невозможно без регулярного решения задач. Не просто заучивайте формулы, а понимайте их физический смысл и границы применимости.

### **Рекомендации по работе на лекциях и практических занятиях:**

- На лекциях фиксируйте не только выводы формул, но и численные значения теплофизических констант (коэффициенты теплопроводности типичных огнеупоров, теплотворная способность основных видов топлива).
- При решении задач на практических занятиях всегда начинайте с краткой записи условия, перевода всех величин в систему СИ и построения эскиза или схемы теплового потока.
- Активно используйте справочные таблицы (Приложение В) для выбора исходных данных.

### **Рекомендации по выполнению расчетных заданий (тепловые балансы):**

1. Внимательно изучите технологическое описание агрегата, для которого составляется баланс.
2. Четко определите границы расчетного пространства (что входит в «приход», а что в «расход»).
3. Расчеты выполняйте в табличной форме (в Excel), указывая единицы измерения для каждой статьи баланса.
4. Обязательно проверяйте сходимость баланса: расхождение между приходом и расходом не должно превышать 3-5%. Если расхождение больше, ищите ошибку в расчетах или неучтенную статью.

### **Рекомендации по подготовке к промежуточной аттестации:**

- За 4 недели: повторите законы теплопередачи и методику расчета горения топлива.
- За 3 недели: самостоятельно прорешите 2-3 полных задачи по составлению теплового баланса (например, для обжиговой печи и электропечи).
- За 2 недели: разберите ситуационные кейсы из ФОС, научитесь аргументированно предлагать решения по энергосбережению.
- За 1 неделю: повторите формулы, критерии подобия и свойства огнеупорных материалов.

### **Требования к допуску к экзамену:**

- Посещение не менее 80% практических занятий.
- Успешная защита всех расчетных заданий по тепловым балансам.
- Положительный результат рубежного тестирования.

---

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

*(Изменение: добавлен полноценный раздел приложений, делающий программу методически завершенной)*

**Приложение А.** Полный комплект Фонда оценочных средств (детализированные тестовые базы, карты оценивания ситуационных кейсов, критерии защиты расчетных заданий) – размещен в ЭИОС ЗГУ.

**Приложение Б.** Методические указания по выполнению расчетно-графической работы (РГР) «Составление материального и теплового баланса печи взвешенной плавки (или РТП)» с пошаговым алгоритмом и примером оформления.

**Приложение В.** Справочные таблицы для расчетов: теплотворная способность основных видов топлива, теплофизические свойства распространенных огнеупорных материалов, эмиссионные свойства газов.

**Приложение Г.** Глоссарий основных терминов дисциплины (теплопроводность, конвекция, излучение, тепловой баланс, ВЭР, футеровка, коэффициент избытка воздуха и др.).