

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Крюков Вадим Николаевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 15.06.2026

Уникальный программный ключ:

1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение**  
**высшего образования**

**«Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»**  
**ЗГУ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ<sup>1</sup>**  
**по дисциплине**

***«Металлургические печи»***

**Факультет:** Горно-технологический (ГТФ)

**Направление подготовки:** 22.04.02 «Металлургия»

**Направленность (профиль):** Металлургия цветных металлов

**Уровень образования:** магистратура

**Кафедра** «Металлургии, машин и оборудования»  
наименование кафедры

**Разработчик ФОС:**

К.С-Х.Н., ДОЦЕНТ

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

О.В. Носова

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ММиО, протокол № 11 от 10.06.2026

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

<sup>1</sup> В данном документе представлены типовые оценочные средства. Полный комплект оценочных средств, включающий все варианты заданий (тестов, контрольных работ и др.), предлагаемых обучающемуся, хранится на кафедре в бумажном и электронном виде.

Фонд оценочных средств по дисциплине *Металлургические печи* для текущей/промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.04.02 *Металлургия* на основе Рабочей программы дисциплины *Металлургические печи*, Положения о формировании Фонда оценочных средств по дисциплине (ФОС), Положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ЗГУ, Положения о государственной итоговой аттестации (ГИА) выпускников по образовательным программам высшего образования в ЗГУ им. Н.М. Федоровского.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы**

### **Компетенции и индикаторы их достижения**

#### **Общепрофессиональные компетенции**

#### **ОПК-1. Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в области металлургии**

- **ОПК-1.1. (Знать)** Основы теплофизики, газодинамики, теории горения топлива, свойства огнеупорных материалов и устройство металлургических печей (ПВП, ПВ, РТП, КС).
- **ОПК-1.2. (Уметь)** Демонстрировать умение выбора оптимальных технологий и режимов работы печей для конкретного производственного процесса, проводить расчет материальных и тепловых балансов.
- **ОПК-1.3. (Владеть)** Методикой расчетно-теоретических и промышленных исследований работ печей, основами теории подобия и моделирования тепломассообменных процессов.

## **2. Паспорт фонда оценочных средств**

### **Тема 1. Теплофизика, газодинамика, горение, подготовка металлургического сырья и его производство**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Конспект, тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

### **Тема 2. Расчетно-теоретические и промышленные исследования работ печей, расчет материальных и тепловых балансов печей (ПВП, ПВ, РТП, КС)**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Курсовой проект (практическая работа), тестовые задания

- Форма оценивания: Письменно

### **Тема 3. Огнеупорные материалы**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Конспект, тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

### **Тема 4. Теплообмен в рабочем пространстве металлургических печей, движение газов, основы теории подобия и моделирования, устройство и принцип работы печей**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Собеседование, тестовые задания
- Форма оценивания: Устно / Письменно

### **Тема 5. Первый и второй закон термодинамики, топливо и основы теории горения, тепловые двигатели**

- Формируемая компетенция: ОПК-1
- Наименование оценочного средства: Тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

## **3. Перечень контрольно-оценочных средств (КОС)**

### **Перечень и шкалы оценивания**

#### **1. Текущий контроль качества**

- **Конспекты и тестовые задания по темам:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: наличие структурированного конспекта, правильность решения теста (порог 75%).
- **Собеседование:** Шкала оценивания — «Достигнут / не достигнут пороговый уровень». Критерии: полнота раскрытия материала, владение профессиональной терминологией.

#### **2. Промежуточная аттестация (Экзамен)**

- **Курсовой проект и итоговое тестирование:** Шкала оценивания — 4-балльная (от 2 до 5).
- **Критерии выставления оценки:**
  - «Отлично» (5): 85–100% от максимально возможной суммы баллов. Глубокое понимание теплофизики процессов, безупречное выполнение расчетной части курсового проекта, умение обосновать выбор оборудования.

- «Хорошо» (4): 75–84% баллов. Полное знание материала с незначительными неточностями в расчетах или трактовке законов теплообмена.
- «Удовлетворительно» (3): 65–74% баллов. Знание основного материала, допущение ошибок в сложных аналитических или расчетных вопросах, требующих помощи преподавателя.
- «Неудовлетворительно» (2): 0–64% баллов. Незнание базовых понятий теплотехники, принципиальные ошибки в понимании работы металлургических печей и расчетах балансов.

#### **4. Типовые контрольные задания и материалы для оценки знаний, умений, навыков**

##### **4.1 Задания для текущего контроля успеваемости**

###### **Темы для конспектов и собеседований:**

1. Способы задания состава газовой смеси и влияние выхода летучих на процесс горения.
2. Сравнительный анализ печей кипящего слоя (КС), печей взвешенной плавки (ПВП) и рудно-термических печей (РТП).
3. Классификация огнеупорных материалов по минеральному составу и температуре применения.
4. Законы теплового излучения (Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа) и их применение в металлургии.
5. Особенности политропных процессов и применение первого и второго законов термодинамики к рабочему телу печи.

###### **Критерии оценки текущего контроля:**

- **«Зачтено»:** Материал изложен логично, использованы актуальные нормативные и справочные данные, студент уверенно отвечает на уточняющие вопросы, демонстрирует понимание физики процессов.
- **«Не зачтено»:** Поверхностное изложение, путаница в базовых определениях (например, смешение теплопроводности и конвекции), незнание устройства основных типов печей.

##### **4.2 Задания для промежуточной аттестации (Экзамен)**

###### **Спецификация комплекта оценочных материалов**

- Общее количество заданий: 15.
- Распределение по типам и уровням сложности:
  - Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень): 3 шт.

- Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень): 3 шт.
- Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень): 3 шт.
- Задания на установление последовательности (Экспертный уровень): 2 шт.
- Задания открытого типа с развернутым ответом / расчетные (Экспертный уровень): 4 шт.

## **Тестовые задания**

### *Блок А. Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень)*

1. Каким способом передается большая часть теплоты в высокотемпературных металлургических печах? а) Теплопроводностью б) Конвекцией в) Тепловым излучением г) Теплопроводностью и конвекцией в равной степени
2. Какой параметр является основным признаком классификации материалов по огнеупорности? а) Минеральный состав б) Плотность в) Способ формования г) Температура размягчения под нагрузкой
3. В изотермическом процессе теплоемкость идеального газа равна: а) Нулю б) Единице в) Бесконечности г) Может принимать разные значения в зависимости от условий

### *Блок Б. Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень)*

4. Какие из перечисленных материалов относятся к кремнеземистым огнеупорам? (Выберите 2 верных варианта) а) Шамот б) Динас в) Магнезит г) Кварцит
5. К печам с полной или частичной теплогенерацией за счет химической энергии сырьевых материалов относятся: (Выберите 2 верных варианта) а) Печи кипящего слоя (КС) б) Анодные печи в) Печи взвешенной плавки (ПВП) г) Электрические дуговые печи
6. Какие факторы влияют на интенсивность теплоотдачи конвекцией в рабочем пространстве печи? (Выберите 3 верных варианта) а) Скорость движения газового потока б) Цвет футеровки печи в) Физические свойства газа (вязкость, теплопроводность) г) Геометрия обтекаемой поверхности

### *Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)*

7. Установите соответствие между законом теплообмена и его физической сутью: А) Закон Фурье Б) Закон Ньютона-Рихмана В) Закон Стефана-Больцмана
  1. Плотность теплового потока пропорциональна разности температур поверхности и окружающей среды.
  2. Энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры.

3. Плотность теплового потока пропорциональна градиенту температуры в направлении теплопередачи.
8. Установите соответствие между типом металлургической печи и ее основной характеристикой: А) Рудно-термическая печь (РТП) Б) Печь кипящего слоя (ПВС/КС) В) Печь взвешенной плавки (ПВП)
  1. Интенсивный тепло- и массообмен за счет барботирования расплава и сжигания топлива в факеле.
  2. Преобразование электрической энергии в тепловую преимущественно за счет сопротивления шихты и расплава.
  3. Высокая интенсивность процесса за счет псевдооживленного состояния твердых частиц в потоке газа.
9. Установите соответствие между термодинамическим процессом и неизменным параметром: А) Изобарный процесс Б) Изохорный процесс В) Адиабатный процесс
  1. Постоянство объема
  2. Отсутствие теплообмена с окружающей средой ( $Q = 0$ )
  3. Постоянство давления

*Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)*

10. Установите правильную последовательность стадий теплопередачи через многослойную стенку металлургической печи: А) Теплопроводность через слой огнеупорной кладки Б) Конвективная и лучистая теплоотдача от внутренней поверхности кладки к газам (или наоборот) В) Конвективная теплоотдача от наружной поверхности кожуха печи к окружающему воздуху Г) Теплопроводность через слой теплоизоляционного материала и металлический кожух
11. Установите логическую последовательность этапов составления материального баланса плавильной печи: А) Определение состава и количества продуктов плавки (штейн, шлак, газы) Б) Составление уравнений химических реакций, протекающих в печи В) Расчет прихода материалов (шихта, флюсы, топливо, дутье) Г) Проверка сходимости баланса (приход = расход) и анализ безвозвратных потерь

*Блок Д. Задания открытого типа с развернутым ответом / расчетные (Экспертный уровень)*

12. (Расчетная задача) Рассчитать материальный баланс плавки на штейн медно-никелевого сырья в печи взвешенной плавки (ПВП). *Исходные данные:* На плавку направляется шихта: 70% концентрата ТОФ, 20% концентрата НОФ, 10% сульфидного концентрата. Десульфуризация – 70%. Безвозвратные потери – 1%. Коэффициент извлечения в штейн: медь – 97%, никель – 95%, кобальт – 70%. Содержание в штейне:  $\Sigma(Ni + Cu)$  – 40%, сера – 25%. Плавка ведется на шлак с содержанием 34% SiO<sub>2</sub>. Обогащение кислородом КВС – 40%. Избыток кислорода в

дутье – 5%. (Студент должен привести структуру приходной и расходной статей баланса и описать методику расчета).

13. Объясните физический смысл числа подобия Нуссельта (Nu) и числа Фурье (Fo). Как эти критерии используются при моделировании тепловых процессов в металлургических печах?
14. Опишите механизм образования и роль магнетита ( $Fe_3O_4$ ) в шлаке при плавке сульфидного сырья. Как наличие магнетита влияет на вязкость шлака и потери цветных металлов, и какие технологические приемы используются для его восстановления?
15. Проанализируйте влияние влажности шихты и флюсов на тепловой баланс рудно-термической печи (РТП). Какие статьи расходной части теплового баланса наиболее существенно изменяются при увеличении влажности, и как это компенсируется в технологическом режиме?

## 5. Ключ верных вариантов ответов и критерии оценивания

### Ключ к заданиям закрытого типа (Блоки А, Б, В, Г)

*Блок А (по 1 баллу за правильный ответ)*

1. в (Тепловым излучением)
2. г (Температура размягчения под нагрузкой / огнеупорность)
3. в (Бесконечности)

*Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке)* 4. б, г (Динас, Кварцит) 5. а, в (Печи кипящего слоя, Печи взвешенной плавки) 6. а, в, г (Скорость потока, свойства газа, геометрия поверхности)

*Блок В (по 1 баллу за полное правильное соответствие)* 7. А-3, Б-1, В-2 8. А-2, Б-3, В-1 9. А-3, Б-1, В-2

*Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность)* 10. Б → А → Г → В 11. В → Б → А → Г

**Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д) Оценивание: до 3 баллов за каждый корректно названный и раскрытый аспект (максимум 3 балла за вопрос).**

*Вопрос 12 (Материальный баланс ПВП):* Эталонные аспекты (макс. 3 балла):

1. Верно определены статьи прихода: масса концентратов (с учетом влажности), флюс (песок), уголь, электродная масса, технологический кислород и воздух.
2. Верно определены статьи расхода: масса штейна (с заданным содержанием Ni+Cu и S), масса шлака (с заданным содержанием  $SiO_2$  и  $Fe_3O_4$ ), масса газов ( $SO_2$ ,  $N_2$ , избыточный  $O_2$ ,  $H_2O$ ), безвозвратные потери.

3. Приведен корректный алгоритм расчета: от общего прихода цветных металлов -> к массе штейна -> к массе серы в штейне -> к количеству десульфурлизованной серы -> к газовому балансу и балансу кремнезема для расчета флюса.

*Вопрос 13 (Критерии подобия Nu и Fo):* Эталонные аспекты (макс. 3 балла):

1. Число Нуссельта (Nu) характеризует отношение интенсивности конвективного теплообмена к теплопроводности в неподвижной среде (граничные условия).
2. Число Фурье (Fo) характеризует нестационарный (изменяющийся во времени) режим теплопроводности, соотнося скорость распространения тепла и скорость изменения температуры.
3. Применение: используются для масштабирования (моделирования) процессов от лабораторной установки к промышленной печи при сохранении геометрического и динамического подобия.

*Вопрос 14 (Магнетит в шлаке):* Эталонные аспекты (макс. 3 балла):

1. Механизм: образуется при неполном окислении сульфидов железа или при окислении FeO в шлаке при избытке кислорода.
2. Влияние: резко повышает вязкость и температуру плавления шлака, что ухудшает расслоение фаз и ведет к механическим потерям цветных металлов (захват капель штейна).
3. Приемы снижения: добавка сульфидизаторов (например, пирротина или угля) для восстановления Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> до FeO, который затем связывается с SiO<sub>2</sub> в легкоплавкий фаялит.

*Вопрос 15 (Влияние влажности на тепловой баланс РТП):* Эталонные аспекты (макс. 3 балла):

1. Увеличение влажности шихты и флюсов ведет к росту статей расхода тепла: на нагрев влаги до 100°C, на фазовый переход (испарение воды) и на нагрев образовавшегося пара до температуры отходящих газов.
2. Это снижает термический КПД печи и может привести к переохлаждению ванны.
3. Компенсация: увеличение подвода электрической мощности, предварительная сушка шихты, оптимизация состава шихты для повышения ее электропроводности и тепловыделения.

**Итоговый подсчет баллов и перевод в шкалу оценивания:**

- Максимальный балл за экзамен: 3 (Блок А) + 3 (Блок Б) + 3 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 12 (Блок Д) = 23 балла.
- Перевод в 4-балльную шкалу (согласно критериям ЗГУ):
  - 20–23 балла (85–100%) = «Отлично» (5)

- 17–19 баллов (75–84%) = «Хорошо» (4)
- 15–16 баллов (65–74%) = «Удовлетворительно» (3)
- Менее 15 баллов (<65%) = «Неудовлетворительно» (2)