


Ю. Л. КУРБАТОВ

А. Б. БИРЮКОВ

Ю. Е. РУБАН

# МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПЕЧИ

---

 «Инфра-Инженерия»



Ю. Л. КУРБАТОВ, А. Б. БИРЮКОВ, Ю. Е. РУБАН

# **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПЕЧИ**

Учебное пособие

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2022

УДК 669.04 (075.8)  
ББК 34.3  
К93

**Р е ц е н з е н т ы :**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики  
неравновесных процессов, метрологии и экологии ДонНУ *В. В. Белоусов*;  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной  
теплоэнергетики ДонНТУ *С. В. Гридин*

**Курбатов, Ю. Л.**

**К93**      **Металлургические печи : учебное пособие / Ю. Л. Курбатов,**  
**А. Б. Бирюков, Ю. Е. Рубан. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия,**  
**2022. – 384 с. : ил., табл.**  
**ISBN 978-5-9729-0819-6**

Изложены вопросы конструкции и тепловой работы печей по переделам металлургического производства, а также методики расчета и способы оценки эффективности работы печей. Приведены результаты оригинальных исследований по теплотехнике металлургических печей различного назначения.

Для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия». Может быть полезно специалистам металлургической промышленности.

УДК 669.04 (075.8)  
ББК 34.3

ISBN 978-5-9729-0819-6

© Курбатов Ю. Л., Бирюков А. Б., Рубан Ю. Е., 2022  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ</b> .....	5
1.1 Определение, классификация .....	5
1.2 Схема топливной печи. Назначение отдельных элементов .....	7
Вопросы для самоконтроля к главе 1 .....	9
<b>2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕЧАХ</b> .....	10
2.1 Теплогенерация, получение высокотемпературного источника тепла .....	10
2.2 Внешний теплообмен .....	11
2.3 Внутренний теплообмен. Нагрев и плавление .....	12
2.4 Гидрогазодинамика.....	13
2.5 Охлаждение конструкций .....	13
2.6 Внутреннее и внешнее использование вторичных энергоресурсов .....	14
Вопросы для самоконтроля к главе 2 .....	15
<b>3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ПЕЧЕЙ</b> .....	16
3.1 Керамические и металлические общестроительные материалы.....	16
3.2 Огнеупорные и теплоизоляционные керамические материалы.....	19
Вопросы для самоконтроля к главе 3 .....	37
<b>4. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПЕЧЕЙ</b> .....	38
4.1 Фундаменты.....	38
4.2 Каркасы .....	41
4.3 Ограждения печей.....	44
Вопросы для самоконтроля к главе 4 .....	59

<b>5 СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОТОПЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ.....</b>	<b>60</b>
5.1 Базовые понятия о газогорелочных устройствах.....	60
5.2 Технологии импульсного сжигания топлива .....	61
5.3 Использование рекуператоров и регенераторов для утилизации теплоты продуктов сгорания.....	68
5.4 Технология отопления пламенных печей при помощи рекуперативных горелок.....	76
5.5 Технология отопления пламенных печей при помощи регенеративных горелок .....	83
Вопросы для самоконтроля к главе 5.....	93
<b>6. ХАРАКТЕРИСТИКА И ТЕПЛОВАЯ РАБОТА ПО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПЕРЕДЕЛАМ.....</b>	<b>94</b>
6.1 Печи черной металлургии .....	94
6.1.1 Производство кокса .....	94
6.1.2 Обжиг известняка и доломита.....	103
6.1.3 Производство чугуна.....	109
6.1.4 Сталеплавильное производство.....	121
6.1.5 Нагревательные печи обработки металла давлением.....	141
6.1.6 Термические печи.....	184
6.1.7 Агломерация.....	212
6.1.8 Туннельные печи для обжига штучных и сыпучих огнеупорных материалов.....	216
6.2 Топливные печи цветной металлургии .....	218
6.2.1 Шахтные печи .....	218
6.2.2 Плавильные пламенные печи .....	226
6.2.3 Нагревательные печи.....	242
Вопросы для самоконтроля к главе 6.....	245
<b>7. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПЕЧЕЙ.....</b>	<b>247</b>
7.1 Расчет горения топлива .....	247
7.2 Расчет внешнего теплообмена.....	251

7.3 Методы расчета нестационарного внутреннего теплообмена .....	259
7.3.1 Постановка задачи. Обзор методов решения .....	260
7.3.2 Приближенные инженерные методы тепловой диаграммы И. Д. Семикина .....	265
7.3.3 Методы конечных разностей (МКР).....	282
7.3.4 Метод элементарных тепловых балансов .....	291
7.3.5 Метод конечных элементов (МКЭ).....	297
7.3.6 Сопряженные и зональные модели .....	310
7.4 Определение тепловой мощности топливных печей.....	325
7.5 Гидрогазодинамические расчеты, выбор тягодутьевых средств.....	335
Вопросы для самоконтроля к главе 7.....	342

<b>8 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТОПЛИВНЫХ ПЕЧЕЙ И НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ .....</b>	<b>344</b>
Вопросы для самоконтроля к главе 8.....	350

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b>	
Этапы проектирования печей .....	351

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b>	
Коэффициенты сопротивления.....	355

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3</b>	
Физические свойства сухого воздуха при $B = 0,103$ МПа .....	365

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4</b>	
Физические свойства водяного пара на линии насыщения .....	366

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 5</b>	
Физические свойства продуктов сгорания ( $p = 0,1$ МПа) .....	367

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 6</b>	
Характеристика газообразного топлива .....	368

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 7</b>	
Характеристика жидких и твердых видов топлива .....	369
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 8</b>	
Теплосодержание железа и углеродистых сталей, кДж/кг .....	370
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 9</b>	
Химический состав углеродистых сталей, % .....	371
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	372