

**Д. П. МИХАЙЛОВ, А. Н. БОЛДИН, А. Н. ГРАБЛЕВ**

# **ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ**

Рекомендовано Государственным образовательным учреждением  
высшего профессионального образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана» в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по направлению  
подготовки «Машиностроительные технологии и оборудование»

Старый Оскол  
ТНТ  
2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>8</b>
<b>ГЛАВА 1. ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПЕЧЕЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>10</b>
1.1. Классификация печей литейного производства .....	10
1.2. Классификация и общая характеристика тепловой работы печей .....	14
Контрольные вопросы по главе 1 .....	16
<b>ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЙ ПЕЧЕЙ .....</b>	<b>17</b>
Контрольные вопросы по главе 2 .....	19
<b>ГЛАВА 3. СПОСОБЫ ГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ РАБОТЫ ПЕЧЕЙ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ .....</b>	<b>20</b>
3.1. Генерация теплоты путём преобразования электрической энергии .....	20
3.1.1. Классификация и общая характеристика способов преобразования электрической энергии .....	20
3.1.2. Преобразование электрической энергии в тепловую способом сопротивления .....	24
3.1.3. Индукционный способ преобразования электрической энергии в тепловую .....	28
3.1.4. Диэлектрический способ преобразования электрической энергии в тепловую .....	33
3.1.5. Дуговой способ преобразования электрической энергии в тепловую .....	34
3.1.6. Плазменный способ преобразования электрической энергии в тепловую .....	38
3.1.7. Электронно-лучевой способ преобразования электрической энергии в тепловую .....	38
3.1.8. Преобразование электрической энергии в тепловую лазерами .....	43
3.2. Генерация теплоты в печах путём сжигания топлива .....	44
3.2.1. Общая характеристика и классификация топлива ...	44
3.2.2. Химический состав топлива .....	46
3.2.3. Тепловые характеристики топлива .....	47
3.2.4. Горение топлива .....	51
Контрольные вопросы по главе 3 .....	57

<b>ГЛАВА 4. ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ПЕЧАХ .....</b>	<b>58</b>
4.1. Общая характеристика теплообмена в печах .....	58
4.2. Взаимное излучение газов, кладки и металла в печи .....	61
4.3. Расчёты конвективного теплообмена .....	67
4.4. Нагрев конвекцией в слое .....	70
Контрольные вопросы по главе 4 .....	83
<b>ГЛАВА 5. ОГНЕУПОРЫ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ ПЕЧЕЙ .....</b>	<b>84</b>
5.1. Огнеупоры и теплоизоляционные материалы .....	84
5.1.1. Общая характеристика огнеупоров .....	84
5.1.2. Изделия шамотные и полукислые .....	88
5.1.3. Изделия высокоглинозёмистые .....	90
5.1.4. Изделия диасовые .....	91
5.1.5. Изделия магнезиальные .....	92
5.1.6. Изделия легковесные .....	94
5.1.7. Теплоизоляционные материалы .....	97
5.1.8. Огнеупорные бетоны .....	101
5.1.9. Набивные массы .....	103
5.1.10. Растворы для кладки печей .....	105
5.1.11. Выбор огнеупорных материалов для литейных печей .....	106
5.2. Элементы конструкций печного пространства .....	111
5.2.1. Фундамент и кладка печи .....	112
5.2.2. Каркас печи .....	114
5.2.3. Механизмы для обслуживания печей .....	115
5.2.4. Вентиляторы и дымососы .....	119
5.3. Устройства для сжигания топлива .....	125
5.3.1. Классификация и конструкция устройств .....	125
5.3.2. Форсунки для сжигания жидкого топлива .....	126
5.3.3. Устройства для сжигания газового топлива .....	128
5.4. Устройства для генерации теплоты путём использования электроэнергии .....	145
Контрольные вопросы по главе 5 .....	150
<b>ГЛАВА 6. ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ .....</b>	<b>151</b>
6.1. Вагранки .....	151
6.1.1. Конструкция вагранки .....	151
6.1.2. Работа вагранки .....	165
6.1.3. Вагранки на горячем дутье .....	166

6.1.4. Вагранки с охлаждаемым плавильным поясом .....	167
6.1.5. Особенности сжигания газа в вагранке .....	170
6.1.6. Горение твёрдого топлива .....	184
6.1.7. Расчёт горения топлива .....	185
6.1.8. Газодинамика горелочных устройств .....	190
6.1.9. Организация движения газов в вагранках .....	198
6.1.10. Материальный баланс вагранки .....	215
6.1.11. Тепловой баланс вагранки .....	217
6.1.12. Расчёт размеров вагранки .....	219
6.2. Газопламенная вращающаяся печь для плавки серого и высокопрочного чугуна .....	221
6.3. Мартеновские печи .....	226
6.4. Тигельные и отражательные топливные плавильные печи .....	229
6.4.1. Горение жидкого топлива .....	235
6.4.2. Расчёт горения жидкого топлива .....	235
6.5. Конвертеры .....	238
6.6. Индукционные тигельные печи .....	239
6.6.1. Индукционные тигельные печи для плавки алюминиевых и магниевых сплавов .....	248
6.6.2. Расчёт индукционной тигельной печи .....	249
6.6.3. Индукционные печи средней частоты .....	260
6.6.4. Вакуумные индукционные печи .....	268
6.6.5. Индукционные плавильные установки фирмы «РЭЛТЕК» .....	276
6.6.6. Индукционные печи фирмы «АВВ» .....	277
6.6.7. Турбоиндукционная индукционная тигельная печь ...	279
6.7. Индукционные каналные печи .....	282
6.7.1. Расчёт индукционной каналной печи .....	289
6.8. Дуговые печи .....	295
6.8.1. Трёхфазные дуговые печи .....	295
6.8.2. Расчёт трёхфазной электродуговой печи .....	301
6.8.3. Дуговые печи для плавки медных сплавов .....	305
6.8.4. Дуговые печи постоянного тока .....	307
6.8.5. Вакуумные дуговые печи .....	325
6.9. Плавильные печи сопротивления .....	343
6.10. Плазменные электропечи .....	350
6.11. Электронно-лучевые печи .....	356
6.12. Электрошлаковые печи .....	364

6.12.1. Классификация электрошлаковых печей .....	367
6.12.2. Типы электрошлаковых печей .....	370
Контрольные вопросы по главе 6 .....	376
<b>ГЛАВА 7. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ ...</b>	<b>378</b>
7.1. Установки для получения защитных атмосфер .....	395
7.2. Расчёт нагревателей электропечей сопротивления .....	399
7.3. Пример расчёта камерной электропечи сопротивления ...	413
Контрольные вопросы по главе 7 .....	419
<b>ГЛАВА 8. СУШИЛЬНЫЕ ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ .....</b>	<b>420</b>
8.1. Топливные печи для сушки форм и стержней .....	420
8.2. Электрические сушильные печи .....	428
8.3. Печи для сушки исходных материалов .....	431
8.4. Специальные сушильные и низкотемпературные нагревательные установки и стенды .....	436
8.5. Тепловой расчёт сушил .....	438
8.6. Расчёт сушильных печей .....	444
8.6.1. Расчёт горения топлива .....	444
8.6.2. Тепловой расчёт .....	446
8.6.3. Пример расчёта сушильной печи .....	447
Контрольные вопросы по главе 8 .....	452
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>453</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>456</b>
<i>Приложение 1. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ОГНЕУПОРНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫЕ .....</i>	<i>456</i>
<i>Приложение 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ .....</i>	<i>459</i>
<i>Приложение 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ .....</i>	<i>462</i>
<i>Приложение 4. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ СРЕДНЕЙ ЧАСТОТЫ .....</i>	<i>466</i>
<i>Приложение 5. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПЛАВКИ ЧУГУНА И СТАЛИ .....</i>	<i>467</i>

Приложение 6. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДУКЦИОННЫХ КАНАЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ .....	468
Приложение 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДУГОВЫХ ТРЁХФАЗНЫХ ПЕЧЕЙ .....	470
Приложение 8. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ ДМБ .....	471
Приложение 9. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ ДППТУ .....	472
Приложение 10. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ .....	473
Приложение 11. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ СЕРИИ ДТВ И ДСВ .....	474
Приложение 12. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ .....	477
Приложение 13. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА СУШИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ .....	483
Приложение 14. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО РАБОТЕ ПЕЧЕЙ ФИРМЫ «РЭЛТЕК» .....	486
Приложение 15. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО УГАРУ ПРИ ПЛАВКЕ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ .....	494