

**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>  | 58  |
| 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> | 84  |
| 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 динасовые .....  | 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>                                      | 151 |
| 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        |
| <b>6.2. Газопламенная врачающаяся печь для плавки</b>    |            |
| серого и высокопрочного чугуна .....                     | 221        |
| <b>6.3. Мартеновские печи .....</b>                      | <b>226</b> |
| <b>6.4. Тигельные и отражательные топливные</b>          |            |
| <b>плавильные печи .....</b>                             | <b>229</b> |
| 6.4.1. Горение жидкого топлива .....                     | 235        |
| 6.4.2. Расчёт горения жидкого топлива .....              | 235        |
| <b>6.5. Конвертеры .....</b>                             | <b>238</b> |
| <b>6.6. Индукционные тигельные печи .....</b>            | <b>239</b> |
| 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 «ABB» .....               | 277        |
| 6.6.7. Турбоиндукционная индукционная тигельная печь ... | 279        |
| <b>6.7. Индукционные канальные печи .....</b>            | <b>282</b> |
| 6.7.1. Расчёт индукционной канальной печи .....          | 289        |
| <b>6.8. Дуговые печи .....</b>                           | <b>295</b> |
| 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        |
| <b>6.9. Плавильные печи сопротивления .....</b>          | <b>343</b> |
| <b>6.10. Плазменные электропечи .....</b>                | <b>350</b> |
| <b>6.11. Электронно-лучевые печи .....</b>               | <b>356</b> |
| <b>6.12. Электрошлаковые печи .....</b>                  | <b>364</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 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> |

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