



**ДЛЯ ВУЗОВ**

---

*А.И. Маляров*

# ПЕЧИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 150700 «Машиностроение», профиль «Машины и технология литейного производства»*



---

**МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
2014**

УДК 621.74(075.32)

ББК 34.61-5я723

М 19

*Рецензенты:* д-р техн. наук, профессор кафедры МТиО  
АлтГТУ им. И.И.Ползунова Г.Е. Левшин  
д-р техн.наук, профессор, зав. кафедрой  
«Системы автоматизированного  
проектирования и технологии литейного  
производства» РГТУ им. К.Э. Циолковского  
В.С.Моисеев

**Маляров А.И.**

М 19 Печи литейных цехов: учебное пособие для вузов.— М.:  
Машиностроение, 2014. — 256 с.: ил.

ISBN 978-5-94275-735-9

Изложены основы металлургической теплотехники применительно к печам литейного производства. Рассмотрены современные конструкции плавильных и нагревательных печей.

УДК 621.74(075.32)

ББК 34.61-5я723

ISBN 978-5-94275-735-9

© Маляров А.И., 2014

© ООО «Издательство Машиностроение», 2014

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

# Содержание

Предисловие .....	7
<b>Глава 1. Горение топлива .....</b>	<b>8</b>
1.1. Химическая термодинамика о равновесии реакций горения топлива .....	8
1.2. Химический состав топлива .....	11
1.2.1. Горючие составляющие .....	13
1.2.2. Негорючие составляющие .....	14
1.2.3. Элементарный состав топлива .....	14
1.3. Теплота сгорания топлива .....	15
1.4. Температура продуктов горения топлива .....	15
1.5. Способы сжигания различных видов топлива .....	17
1.5.1. Сжигание твердого топлива .....	17
1.5.2. Сжигание жидкого топлива .....	19
1.5.3. Сжигание газообразного топлива .....	20
1.6. Методика расчета процесса горения топлива .....	20
1.6.1. Расчет теплоты сгорания топлива .....	20
1.6.2. Расчет количества кислорода, необходимого для полного сгорания элементов топлива .....	21
1.6.3. Расчет объема воздуха, необходимого для сгорания топлива .....	22
1.6.4. Расчет калориметрической температуры продуктов горения .....	23
1.6.5. Методы получения высоких температур .....	24
1.6.6. Расчет теоретической температуры продуктов горения .....	25
1.7. Взаимосвязь параметров процессов горения топлива .....	26
<b>Глава 2. Методы преобразования электрической энергии в тепловую .....</b>	<b>38</b>
2.1. Устройство и принцип действия электронагревателей сопротивления .....	38
2.1.1. Устройство электронагревателя из жаростойких сплавов .....	39
2.1.2. Силитовые электронагреватели .....	47
2.2. Индукционный нагрев металлов .....	52

2.2.1. Принцип действия индукционных тигельных печей. . . . .	52
2.2.2. Выбор частоты тока для питания ИТП. . . . .	54
2.2.3. Электромагнитное перемешивание металла в тигле. . . . .	57
2.2.4. Электрический КПД системы индуктор—садка. . . . .	58
2.2.5. Схема и принцип действия индукционной канальной единицы. . . . .	63
2.3. Нагрев электрической дугой. . . . .	67
<b>Глава 3. Движение газов в печах. . . . .</b>	<b>70</b>
3.1. Основные понятия и определения механики газов. . . . .	70
3.1.1. Закон Гей-Люссака. . . . .	70
3.1.2. Скорость движения газа. . . . .	71
3.1.3. Уравнение неразрывности газового потока. . . . .	71
3.1.4. Разновидности давлений газов. . . . .	71
3.1.5. Взаимодействие геометрического, статического и динамического давлений. . . . .	73
3.1.6. Уравнение Бернулли. . . . .	75
3.2. Струйное движение газов. . . . .	76
3.2.1. Движение свободной струи. . . . .	76
3.2.2. Струйные аппараты. . . . .	77
3.2.3. Настильность струи. . . . .	77
3.2.4. Струйное движение в камере. . . . .	78
3.3. Движение газов в рабочем пространстве печи. . . . .	79
3.3.1. Способы создания вынужденного движения в печах. . . . .	80
3.3.2. Рациональный режим движения газов в печах. . . . .	82
<b>Глава 4. Основные теплопередачи. . . . .</b>	<b>86</b>
4.1. Общие сведения. . . . .	86
4.2. Теплопроводность. . . . .	88
4.2.1. Теплопроводность плоской однослойной стенки. . . . .	88
4.2.2. Теплопроводность плоской многослойной стенки. . . . .	89
4.2.3. Теплопроводность цилиндрической стенки. . . . .	90
4.3. Конвекция. . . . .	91
4.3.1. Конвекция при свободном движении. . . . .	91
4.3.2. Конвекция при вынужденном движении. . . . .	92
4.4. Теплообмен излучением. . . . .	95
4.4.1. Основные законы теплового излучения. . . . .	96
4.4.2. Теплопередача излучением между серыми поверхностями тел, разделённых лучепрозрачной средой. . . . .	98
4.4.3. Излучение газов. . . . .	104
4.5. Компьютерное моделирование процессов теплопередачи. . . . .	108
4.6. Нагрев металла. . . . .	114
4.6.1. Окисление и обезуглероживание металла. . . . .	114
4.6.2. Влияние температурного режима на структуру и термические напряжения в отливках. . . . .	115
4.6.3. Расчёт нагрева металла. . . . .	116
4.6.4. Методика расчёта времени нагрева металла. . . . .	120

---

<b>Глава 5. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы</b> . . . . .	<b>124</b>
5.1. Общие сведения о классификации огнеупорных материалов . . . . .	124
5.2. Кремнезёмистые огнеупорные материалы . . . . .	126
5.3. Алюмосиликатные огнеупорные материалы . . . . .	130
5.4. Глинозёмистые материалы . . . . .	132
5.5. Высокомагнезиальные огнеупорные изделия . . . . .	133
5.6. Доломитовые огнеупоры . . . . .	134
5.7. Углеродистые огнеупорные материалы . . . . .	134
5.8. Карбидокремниевые огнеупорные материалы . . . . .	135
5.9. Огнеупорные растворы и бетоны . . . . .	136
5.10. Теплоизоляционные материалы . . . . .	137
<b>Глава 6. Устройства для сжигания газообразного и жидкого топлива</b> . . . . .	<b>140</b>
6.1. Горелки для сжигания газообразного топлива . . . . .	140
6.2. Форсунки для сжигания жидкого топлива . . . . .	145
6.3. Сжигание твёрдого топлива . . . . .	146
6.4. Радиантные трубы . . . . .	147
6.5. Выбор горелок и форсунок для промышленных печей . . . . .	148
<b>Глава 7. Способы совершенствования тепловой работы печи</b> . . . . .	<b>150</b>
7.1. Тепловой баланс промышленных печей . . . . .	150
7.2. Способы сокращения потерь энергии в промышленных печах . . . . .	152
7.3. Устройства для использования тепла уходящих газов . . . . .	155
7.3.1. Схемы и принцип действия рекуператоров . . . . .	155
7.3.2. Конструкции рекуператоров . . . . .	157
<b>Глава 8. Плавильные печи</b> . . . . .	<b>163</b>
8.1. Вагранки . . . . .	163
8.1.1. Конструкции ваграночных комплексов . . . . .	163
8.1.2. Взаимосвязь параметров работы коксовой вагранки . . . . .	176
8.1.3. Особенности работы металлургических вагранок . . . . .	178
8.1.4. Конструкции бескоксовых вагранок . . . . .	178
8.1.5. Стабилизация химического состава чугуна, выплавленного в вагранках . . . . .	181
8.2. Топливные плавильные печи для плавки цветных сплавов . . . . .	181
8.3. Электродуговые печи . . . . .	185
8.3.1. Схема и принцип действия трехфазной электродуговой печи . . . . .	185
8.3.2. Устройство основных частей дуговой печи . . . . .	186
8.3.3. Режимы работы трехфазной дуговой печи . . . . .	191
8.3.4. Особенности конструкции однофазных дуговых печей с независимой дугой . . . . .	194
8.3.5. Особенности конструкции дуговых печей постоянного тока . . . . .	195
8.3.6. Вакуумные дуговые печи. Понятие о гарниссажной плавке . . . . .	197

---

8.4. Плазменные печи . . . . .	198
8.5. Индукционные печи . . . . .	200
8.5.1. Высокочастотные плавильные печи . . . . .	200
8.5.2. Индукционные плавильные печи промышленной частоты . . . . .	206
8.5.3. Особенности конструкции индукционных тигельных печей средней частоты (ИТПСЧ) . . . . .	212
8.5.4. Применение индукционных тигельных печей для плавки цветных сплавов . . . . .	214
8.5.5. Индукционные каналные печи в литейном производстве . . . . .	216
8.6. Плавильные печи сопротивления . . . . .	221
8.7. Современные методы внепечной обработки расплава . . . . .	222
<b>Глава 9. Нагревательные печи . . . . .</b>	<b>225</b>
9.1. Печи непрерывного действия . . . . .	226
9.2. Печи периодического действия . . . . .	231
<b>Глава 10. Сушильные печи . . . . .</b>	<b>235</b>
10.1. Сушка песка . . . . .	237
10.2. Сушка литейных форм . . . . .	238
10.3. Сушка стержней . . . . .	240
10.4. Сушка шихты . . . . .	243
10.5. Сушка и нагрев ковшей . . . . .	245
Список литературы . . . . .	246
Приложение 1. Листинг программы расчета процесса горения газообразного топлива в таблицах Excel . . . . .	247
Приложение 2. Листинг программы расчета процесса горения твердого и жидкого топлива в таблицах Excel . . . . .	249
Приложение 3. Пример индивидуального задания по расчету процессов горения . . . . .	251
Приложение 4. Значения коэффициентов местного сопротивления . . . . .	251
Приложение 5. Значения расчетной толщины нагреваемого тела $S$ и коэффициента $\mu$ увеличения продолжительности нагрева совокупности тел . . . . .	254

# Предисловие

Необходимость написания данного учебника объясняется тем, что со времени издания фундаментального учебника профессора В.А. Грачева «Печи литейных цехов» (М., 1994) в литейных цехах появились принципиально новые энерготехнологические процессы и оборудование. В научно-технической литературе сведения о них носят разрозненный, несистематизированный характер.

Автор настоящего учебника стремился сохранить направленность учебника В.А. Грачева, сформулированную во введении: «для инженера-литейщика важно не первичное конструирование печей, а их эксплуатация». Расчет и конструирование современного оборудования возможны в условиях фирм-разработчиков, имеющих богатый опыт работы. Этот опыт и базы данных, необходимые для достаточно точных расчетов оборудования, являются интеллектуальной собственностью фирм и не доступны для посторонних специалистов.

Однако широкое распространение компьютерных технологий значительно расширило возможности практического применения сложной и большой по объему теоретической части учебника. Современные программные продукты, в том числе основанные на методе конечных элементов, позволяют с высокой точностью моделировать работу сложных теплотехнических устройств. Это позволяет устанавливать количественную взаимосвязь параметров работы печей и выбирать оптимальные режимы их эксплуатации.

Очевидно, что использование этих программ требует хорошего понимания теоретических основ металлургической теплотехники и поэтому в значительно большей степени, чем прежде, стимулирует их изучение.

Кроме того, в учебном процессе широкое распространение получили новые образовательные технологии, требующие корректировки методики изложения учебного материала.

Автор стремился не перегружать учебник численными данными, имеющимися в справочной литературе.