

**Э. Э. Меркер
Д. А. Харламов
А. А. Ансимов**

**ТЕПЛОВЫЕ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
ВО ВРАЦАЮЩИХСЯ ОБЖИГОВЫХ
ПЕЧАХ**



**ТОНКИЕ
НАУКОЕМКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Э. Э. МЕРКЕР, Д. А. ХАРЛАМОВ, А. А. АНСИМОВ

**ТЕПЛОВЫЕ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ОБЖИГОВЫХ
ПЕЧАХ**

Старый Оскол
ТНТ
2017

УДК 669.0
ББК 34.3
М 523

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *И. М. Тынников*
кандидат технических наук, доцент *А. А. Шевченко*

Меркер Э. Э., Харламов Д. А., Ансимов А. А.
М 523 Тепловые и технологические процессы во вращающихся
обжиговых печах: монография / Э. Э. Меркер, Д. А. Харламов,
А. А. Ансимов. — Старый Оскол : ТНТ, 2017. — 296 с.

ISBN 978-5-94178-434-9

В монографии рассмотрены тепловые и технологические процессы при производстве извести во вращающихся печах обжига известняка, определены пути совершенствования тепловой работы этих печей на базе выполненных исследований с применением методов моделирования процесса сжигания топлива в зоне обжига сырья при использовании компьютерной системы оптимального управления тепловым режимом работы агрегата, что является перспективным направлением повышения эффективности производства качественной извести для применения в металлургическом производстве.

Монография предназначена для инженерно-технических работников, студентов и аспирантов горно-металлургических, машиностроительных и других направлений.

УДК 669.0
ББК 34.3

ISBN 978-5-94178-434-9

© Меркер Э. Э., Харламов Д. А.,
Ансимов А. А., 2017
© Оформление. ООО «ТНТ», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА	8
1.1. Анализ основных направлений исследования теплотехнических характеристик при работе обжиговых печей	8
1.2. Анализ теплообменных характеристик топливного факела во вращающейся печи	20
1.3. Особенности эксплуатации коротких вращающихся печей обжига известняка для производства извести	30
Выводы	37
ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ	38
2.1. Теплотехнические исследования и анализ на основе данных теплового баланса агрегата	38
2.2. Роль коэффициента расхода воздуха и теплообмен в обжиговой печи	53
2.3. Оценка основных показателей работы вращающихся печей обжига для производства извести	69
2.4. Оптимизация обжига цементного клинкера во вращающейся печи	72
Выводы	80
ГЛАВА 3. ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ	82
3.1. Теплообмен и обжиг известняка в печи	82
3.2. Зависимость качества обожженных материалов от режима работы вращающихся печей	87
3.3. Теплопередача между слоем зернистых частиц и стенкой вращающегося барабана	91
Выводы	98
ГЛАВА 4. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ОБЖИГЕ ИЗВЕСТНЯКА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ	99
4.1. Исследование системы аспирации воздуха, поступающего из холодильника вращающейся печи	99

4.2. Анализ теплового баланса агрегата	107
4.3. Математическое моделирование процесса обжига сырья во вращающихся трубчатых печах	121
4.4. Математическая модель тепловой работы вращающейся печи на основе учёта сопряжённого теплообмена между шихтой и печным пространством	130
4.5. Интенсификация теплообмена во вращающихся печах обжига для производства извести	132
Выводы	134
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОБЖИГА И ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ	136
5.1. Взаимосвязь режима обжига и показателей тепловой работы вращающейся печи	136
5.2. Анализ технологических показателей работы печей	150
5.3. Новые разработки топливосжигающих устройств	154
Выводы	164
ГЛАВА 6. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ И АНАЛИЗ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗОНАХ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ	168
6.1. Анализ теплообмена в зонах печи	168
6.2. Моделирование аэродинамики горелочных устройств вращающихся печей	174
Выводы	184
ГЛАВА 7. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ОБЖИГОВЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КООКСИАЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ	186
7.1. Об особенностях работы коаксиальной газовой горелки	187
7.2. Теплотехнические преимущества при работе коаксиальной газовой горелки в печи	196
7.3. Исследование аэродинамики диффузионного коаксиального факела в печах	204
Выводы	212

ГЛАВА 8. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СООТНОШЕНИЕМ ТОПЛИВО-ВОЗДУХ	213
8.1. Контролируемые параметры работы вращающихся печей	213
8.2. Аэродинамические исследования при работе вращающейся печи обжига известняка	221
8.3. Компьютерная система для расчёта коэффициента расхода воздуха, идущего на горение топлива	230
8.4. Экспериментальная проверка адекватности математического моделирования процесса выгорания газообразного топлива в турбулентном факеле	238
Выводы	245
ГЛАВА 9. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ РАБОТЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ОБЖИГОВЫХ ПЕЧЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ АГРЕГАТА	246
9.1. Результаты анализа работы компьютерной системы для управления режимом сжигания топлива	247
9.2. Оптимальное управление режимами работы технологических печей в нефтеперерабатывающей промышленности	257
9.3. Влияние горелочного устройства для сжигания топлива на технико-экономические показатели работы вращающихся печей	262
9.4. Контроль теплоты сгорания газового топлива и коэффициента избытка воздуха по электропроводности пламени	279
Выводы	284
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	285
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	290