

## **Жихар, Георгий Иосифович.**

Котельные установки тепловых электростанций:  
учебное пособие для вузов / Г. И. Жихар. — Минск:  
Вышэйшая школа, 2015. — 522, [1] с.: ил., табл. —  
Библиогр.: с. 517-519.

УДК [621.182 + 621.311.22(075.8)]

ББК 34

**Ч/З №1 — 2 экз.**

В учебном пособии приведены сведения по энергетическим топливам, их свойствам и расчетам продуктов сгорания, а также по эффективности использования теплоты топлива. Рассмотрены процессы подготовки твердых топлив к сжиганию в пылевидном состоянии. Изложены основные положения современной теории топочных процессов.

Освещаются физические процессы в топке и на внешней стороне поверхностей нагрева котла. Подробно рассмотрены способы сжигания различных топлив, конструкции горелок и топочных устройств. Приведены технические характеристики современных мощных паровых и водогрейных котлов, а также котлов с кипящим слоем.

Для студентов учреждений высшего образования теплоэнергетических специальностей, а также для инженеров-теплоэнергетиков, работающих в области эксплуатации котлов.

Г.И. Жихар

# Котельные установки тепловых электростанций

.....

*Допущено  
Министерством образования  
Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия  
для студентов учреждений  
высшего образования  
по специальностям  
«Тепловые электрические станции»,  
«Паротурбинные установки атомных  
электрических станций»*



Минск  
«Вышэйшая школа»  
2015

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	5
<b>Глава 1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО И ЕГО КЛАССИФИКАЦИЯ</b>	<b>8</b>
1.1. Виды топлива и его состав . . . . .	8
1.2. Химический состав топлива . . . . .	18
1.3. Теплота сгорания топлива . . . . .	23
1.4. Условное топливо и приведенные характеристики . . . . .	29
1.5. Технические характеристики твердого топлива . . . . .	30
1.5.1. Выход летучих веществ и свойства твердого горючего остатка . . . . .	30
1.5.2. Минеральные примеси топлива . . . . .	32
1.5.3. Влага твердого топлива . . . . .	37
1.5.4. Технологические показатели влажности топлива . . . . .	38
1.6. Технические характеристики мазута . . . . .	40
1.7. Технические характеристики природного газа . . . . .	48
<b>Глава 2. ПОДГОТОВКА ТОПЛИВА К СЖИГАНИЮ В КАМЕРНЫХ ТОПКАХ</b>	<b>51</b>
2.1. Подготовка к сжиганию твердого топлива . . . . .	51
2.1.1. Общие положения . . . . .	51
2.1.2. Удаление из топлива посторонних включений . . . . .	52
2.1.2.1. Удаление из топлива магнитных металлических предметов . . . . .	52
2.1.2.2. Удаление из топлива древесных включений . . . . .	55
2.1.2.3. Удаление из топлива колчедана . . . . .	56
2.1.2.4. Грохоты . . . . .	58
2.1.3. Дробление топлива. . . . .	60
2.1.3.1. Схемы дробления . . . . .	60
2.1.3.2. Валковые дробилки . . . . .	61
2.1.3.3. Молотковые дробилки . . . . .	65
2.1.4. Свойства и характеристики угольной пыли . . . . .	67
2.1.4.1. Тонкость размола и зерновая характеристика пыли . . . . .	67
2.1.4.2. Поверхность пыли . . . . .	74
2.1.4.3. Плотность пыли . . . . .	75
2.1.4.4. Влажность пыли . . . . .	77
2.1.4.5. Взрываемость пыли . . . . .	78
2.1.4.6. Абразивность топлива . . . . .	81
2.1.5. Размол топлива . . . . .	84
2.1.5.1. Коэффициент размолоспособности топлива . . . . .	85
2.1.5.2. Оптимальная степень размола . . . . .	87
2.1.6. Конструкции мельниц для размола топлива . . . . .	89
2.1.6.1. Шаровые барабанные мельницы . . . . .	89
2.1.6.2. Молотковые мельницы . . . . .	99

2.1.6.3. Среднеходные мельницы . . . . .	103
2.1.6.4. Мельницы-вентиляторы . . . . .	107
2.1.7. Системы приготовления пыли . . . . .	110
2.1.7.1. Индивидуальные системы приготовления пыли . . . . .	110
2.1.7.2. Центральная схема пылеприготовления . . . . .	115
2.1.8. Элементы систем пылеприготовления . . . . .	118
2.1.8.1. Сепараторы . . . . .	118
2.1.8.2. Циклоны . . . . .	126
2.1.8.3. Мигалки. . . . .	130
2.1.8.4. Пылепитатели . . . . .	131
2.1.9. Выбор системы пылеприготовления и типа мельниц . . . . .	134
2.1.10. Взрывы угольной пыли в пылеприготовительных установках и меры для их предотвращения . . . . .	138
2.2. Подготовка к сжиганию мазута и природного газа . . . . .	140
2.2.1. Подготовка к сжиганию мазута . . . . .	140
2.2.2. Подготовка к сжиганию газообразного топлива . . . . .	142
<b>Глава 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ . . . . .</b>	<b>145</b>
3.1. Кинетика химических реакций горения . . . . .	145
3.2. Диссоциация продуктов горения и ее влияние на температуру горения . . . . .	149
3.3. Скорость химических реакций . . . . .	151
3.4. Влияние температуры и давления на скорость химических реакций . . . . .	153
3.5. Цепные реакции. . . . .	157
3.6. Кинетическая и диффузионная области горения . . . . .	160
3.7. Аэродинамические особенности свободной турбулентной струи . . . . .	164
3.8. Процессы воспламенения и распространения пламени . . . . .	166
3.8.1. Самовоспламенение твердого топлива . . . . .	171
3.8.2. Вынужденное воспламенение (техническое зажигание) . . . . .	174
3.8.3. Концентрационные границы зажигания . . . . .	174
3.8.4. Нормальная скорость распространения пламени . . . . .	176
3.9. Турбулентное диффузионное горение газа . . . . .	180
3.10. Смешанный принцип сжигания газа . . . . .	184
3.11. Интенсификация сжигания газообразного топлива . . . . .	187
3.12. Горение жидкого топлива . . . . .	190
3.13. Горение твердого топлива . . . . .	197
<b>Глава 4. ТЕПЛООБМЕН В КОТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ . . . . .</b>	<b>206</b>
4.1. Особенности теплообмена в топке котла . . . . .	206
4.2. Расчет суммарного теплообмена в топке котла . . . . .	211
4.3. Лучистый теплообмен в газоходах котла . . . . .	224
4.4. Конвективный теплообмен в газоходах котла . . . . .	227
<b>Глава 5. ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА . . . . .</b>	<b>232</b>
5.1. Теоретически необходимое количество воздуха . . . . .	232
5.2. Теоретические объемы продуктов сгорания . . . . .	233

5.3. Действительные объемы продуктов сгорания . . . . .	235
5.4. Определение коэффициента избытка воздуха . . . . .	237
5.5. Энтальпия продуктов сгорания . . . . .	240
<b>Глава 6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА . . .</b>	<b>242</b>
6.1. Тепловой баланс парового котла . . . . .	242
6.2. Анализ тепловых потерь . . . . .	247
6.2.1. Потери теплоты с уходящими газами . . . . .	247
6.2.2. Потеря теплоты с химическим недожогом топлива . . . . .	251
6.2.3. Потеря теплоты с механическим недожогом топлива . . . . .	253
6.2.4. Потеря теплоты от наружного охлаждения . . . . .	257
6.2.5. Потеря с физической теплотой шлаков . . . . .	259
6.2.6. Оптимизация коэффициента избытка воздуха в топке котла по сумме тепловых потерь . . . . .	260
<b>Глава 7. ТОПОЧНЫЕ КАМЕРЫ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ . . . . .</b>	<b>262</b>
7.1. Основные характеристики камерных топок . . . . .	262
7.2. Пылеугольные горелки . . . . .	266
7.2.1. Вихревые горелки . . . . .	267
7.2.2. Прямоточные горелки . . . . .	275
7.2.3. Комбинированные пылеугольные горелки . . . . .	280
7.2.4. Фронтальная компоновка горелок . . . . .	285
7.2.5. Встречная компоновка горелок . . . . .	288
7.2.6. Встречно-смещенная компоновка горелок . . . . .	289
7.2.7. Тангенциальная компоновка горелок . . . . .	291
7.3. Камерные топки с твердым шлакоудалением. . . . .	293
7.3.1. Топки с молотковыми мельницами . . . . .	298
7.3.2. Топки с мельницами-вентиляторами . . . . .	303
7.3.3. Топки с пылеконцентратором . . . . .	305
7.3.4. Вихревые топки . . . . .	307
7.4. Топки с жидким шлакоудалением . . . . .	310
7.4.1. Циклонные топки . . . . .	321
7.4.2. Топочное оборудование . . . . .	331
<b>Глава 8. ТОПОЧНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГАЗА И МАЗУТА В ПАРОВЫХ КОТЛАХ . . . . .</b>	<b>339</b>
8.1. Конструктивные схемы газомазутных топок . . . . .	339
8.2. Газомазутные топки . . . . .	344
8.3. Мазутные форсунки . . . . .	350
8.4. Газомазутные горелки . . . . .	364
8.5. Расчет газовых горелок . . . . .	381
8.6. Эксплуатация газомазутных топок . . . . .	385
8.7. Топки для газообразного топлива . . . . .	387
8.8. Эксплуатация газовых топок . . . . .	391
8.9. Эксплуатация пылегазовых топок . . . . .	394

8.10. Снижение выбросов оксидов азота в окружающую среду режимными методами . . . . .	395
--	-----

**Глава 9. ПРОЦЕССЫ НА ВНЕШНЕЙ СТОРОНЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
НАГРЕВА . . . . . 405**

9.1. Загрязнения поверхностей нагрева летучей золой . . . . .	405
9.2. Механизм шлакообразования и его предупреждение . . . . .	413
9.3. Износ поверхностей нагрева летучей золой . . . . .	417
9.4. Коррозия поверхностей нагрева со стороны греющих газов . . .	428
9.4.1. Высокотемпературная коррозия . . . . .	428
9.4.2. Низкотемпературная коррозия . . . . .	430
9.4.3. Защита воздухоподогревателей от низкотемпературной коррозии . . . . .	440
9.5. Очистка поверхностей нагрева котлов . . . . .	448
9.5.1. Выбор обдувочного агента . . . . .	448
9.5.2. Выдвижные обдувочные аппараты . . . . .	449
9.5.3. Стационарные обдувочные устройства . . . . .	456
9.5.4. Очистка топочных экранов водой . . . . .	459
9.5.5. Вибрационные устройства . . . . .	460
9.5.6. Дробеструйные устройства . . . . .	461
9.5.7. Устройства для обдувки регенеративных воздухоподо- гревателей . . . . .	466
9.5.8. Обмывка регенеративных воздухоподогревателей . . . . .	468
9.5.9. Очистка регенеративных воздухоподогревателей нагревом продуктами сгорания . . . . .	470
9.5.10. Импульсная очистка регенеративных воздухоподо- гревателей . . . . .	471

**Глава 10. КОТЛЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ . . . . . 473**

10.1. Основные определения и классификация котлов . . . . .	473
10.2. Стальные водогрейные котлы . . . . .	487
10.3. Котлы-утилизаторы . . . . .	495
10.4. Котлы с кипящим слоем . . . . .	500

**ЛИТЕРАТУРА . . . . . 517**