Библиотека СОК

Министерство путей сообщения Российской Федерации

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Кафедра “Тепловозы и тепловые двигатели”

В.М. Баранов

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ТОПКИ КОТЛА

Методические указания

по выполнению курсовой работы для студентов

ИТиПС и ИИФО специальности “Локомотивы”

Хабаровск

2003

Рецензент: Доктор технических наук, профессор кафедры “Безопасность жизнедеятельности” Дальневосточного государственного университета путей сообщения *В.Д. Катин*

Баранов, В.М.

Б 241 Расчет тепловых процессов топки котла: Методические указания к курсовой работе / В.М Баранов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. – 24 с.: ил.

Методические указания соответствуют государственному стандарту дисциплины “Физические основы теплоиспользования железных дорог” специальности 1507.04 “Тепловозы”.

Рассмотрены общие понятия о топках промышленных паровых котлов и изложена методика теплового расчета этих топок.

Предназначено для студентов третьего курса ИТиПС и студентов четвертого курса ИИФО.

© Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), 2003

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ

1. ТИПЫ ТОПОК ПАРОВЫХ КОТЛОВ

2. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ТОПКИ КОТЛА

2.1. Расчет необходимого объема воздуха и объема продуктов сгорания топлива

2.2. Составление теплового баланса котла

2.3. Определение температуры газов в зоне горения топлива

2.4. Расчет геометрических параметров топки

2.5. Площади поверхностей топки и камеры догорания

2.6. Расчет температуры газов на выходе из топки

ПРИЛОЖЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

Курсовую работу “Расчет тепловых процессов топки котла” по дисциплине “Физические основы теплоиспользования на железнодорожном транспорте” выполняют студенты тепловозной специальности дневной формы обучения в шестом семестре и заочной формы обучения в восьмом семестре.

Методические указания к курсовой работе содержат две части. Первая часть дает общее понятие о топках котлов. Во второй части содержатся исходные данные для расчетов, отдельно для студентов дневной формы и студентов заочной формы обучения. Студенты дневной формы принимают к расчету исходные данные по номеру своей фамилии в классном журнале, студенты заочной формы – по месту жительства и последней цифре шифра зачетной книжки. Необходимые для расчетов справочные данные приведены в таблицах приложения.

Особенность расчетов такова, что последующие расчеты основываются на результатах предшествовавших расчетов. Поэтому приходится постоянно обращаться к страницам написанным ранее, что увеличивает время работы над расчетами. Рекомендуется черновые расчеты проводить на бумажной полосе. В которой слева пишется формула, затем значение справочных величин и результат с размерностью.

При оформлении отчета следует учитывать правила ЕСКД. Так все расчеты нумеруются, например:

1.1.Расчет необходимого объема воздуха и объема продуктов сгорания топлива

1.1.1. Рабочая масса угля

1.1.2. Теплота сгорания угля и т.д.

Расчетные формулы пишутся дважды. Сначала пишут формулу в буквах (символах), а затем с новой строки в числах и пишут размерность результата.

Подрисуночная надпись делается так: Рисунок 1.1 – Диаграмма H-t дымовых газов

Подпись над таблицей делается полная. Таблица 1.3 – Числовое значение q_3

Каждая страница оформляется рамкой: слева пробел 20 мм, сверху, справа и снизу – по 5 мм. Страница ставится в правом нижнем углу рамки.

1. ТИПЫ ТОПОК ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Котлом называют замкнутый объем, в котором размещается вода и её пар. Этот объем у промышленных котлов состоит из верхнего барабана 1 и нижнего барабана 2 диаметром по одному метру (рис. 1). Барабаны сообщаются кипятильными трубами 3, которые концами ввальцованы в отверстия обоих барабанов. Дополнительный объем образуют экранные трубы 4. Они выходят из верхнего барабана и в один слой покрывают поверхности потолка и боковых стен топки и вварены в коллекторы 5. Коллекторы представляют горизонтальные трубы, сообщающиеся с нижним барабаном и трубами 6 увеличенного диаметра с верхним барабаном.

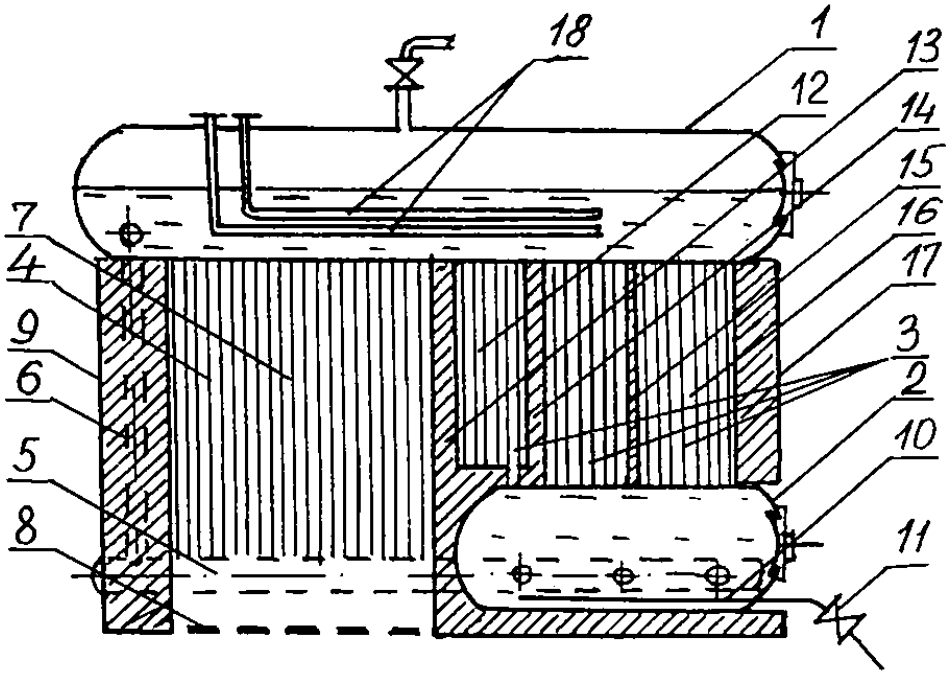


Рис. 1. Схема водотрубного котла

В нижней части топочного объема 7 нанесена жирная штриховая линия 8. На этом уровне располагаются колосники ручных, полумеханических или механических топок, или под (низ) камерной топки для сжигания мазута или газа. На передней стенке 9 устанавливают пневмомеханические забралыватели угля, или выполняют шуровочное отверстие ручной топки, или устанавливают мазутные и газовые горелки.

При превращении воды в пар, соли и другие примеси остаются в котловой воде. Они образуют кристаллы, хлопья и другие образования, которые оседают на днище нижнего барабана. Там же уложена перфорированная (дырчатая) труба 10 с вентилем 11. Если периодически открывать вентиль, то часть воды с осевшим осадком (шламом) выбрасывается из котла в дренаж.

Это действие называют периодической продувкой котла. Если вентиль 11 держать немного открытым постоянно, то продувка котла будет непрерывной.

Газообразные продукты сгорания топлива выходят из топочного объема в камеру догорания 12 через окно в дальней части задней стенки 13 топки. В камере 12 они двигаются в направлении к нам и через окно в задней стенке 14 камеры догорания выходят в объем занятый кипятильными трубами. Здесь они двигаются от нас между стенкой 14 и перегородкой 15. Проходят в окно перегородки 15 и в объеме 16 двигаются к нам. Затем газы уходят через окно в задней стенке 17 или через подпольный газоход и оказываются в экономайзере, где нагревают питательную воду, которая подается в котел насосом под поверхность воды в верхнем барабане по перфорированным трубам 18.

Схема топки с ручным отоплением приведена на рис. 2. Здесь в передней стенке топки выполнено шуровочное отверстие 1 для подачи угля на поверхность колосников 2. Дверца 3 нормально закрыта. Воздух под колосники нагнетается дутьевым вентилятором в зольник 4 по каналу 5, имеющему задвижку для регулирования количества воздуха и ее тягу 6. Колосники называются поворотными. Они связаны рычагами 7 с тягой 8, имеющей приводной рычаг 9. Когда под горящим топливом образуется толстый слой золы, препятствующий проходу воздуха к углю, то рычаг 9 перемещается вверх и вниз. При этом колосники 2 наклоняются, слой золы разрушается и она подает в зольник.

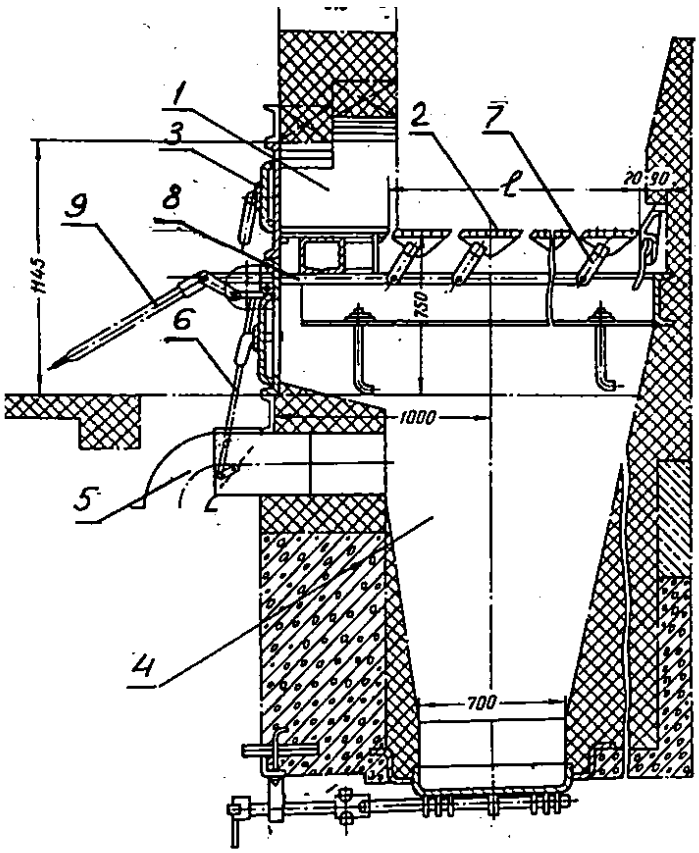


Рис. 2. Ручная топка

На рис. 3 показана схема полумеханической топки. Здесь подача топлива механизирована, а золоудаление, как и у ручной топки, требует затраты мышечной энергии кочегара. На складе топлива установлена дробилка. От неё по транспортеру дробленый уголь подается в бункер 1. В его нижней части установлен питатель 2, подающий уголь в полость механического забрасывателя. Он представляет вал 3 с лопатками, от удара которых уголь разбрасывается по поверхности колосниковой решетки с поворотными колосниками. Однако мелочь далеко не улетает и образует завал у передней стенки топки.

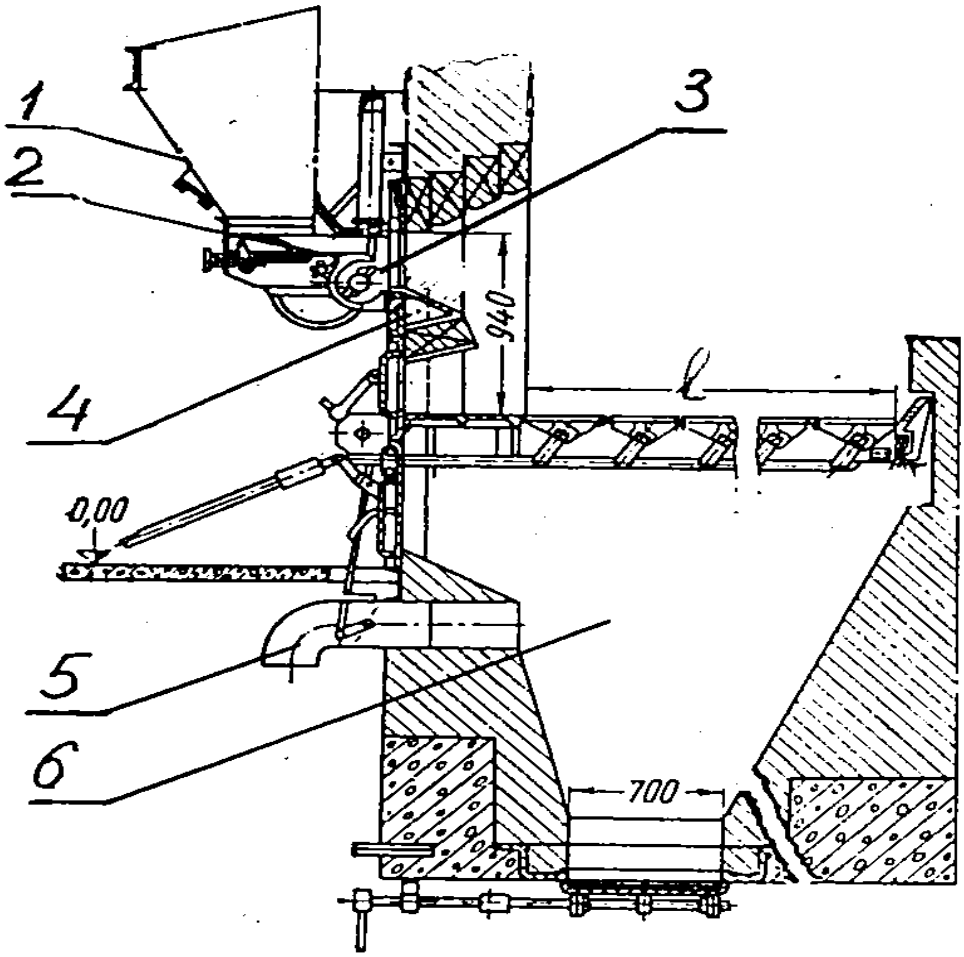


Рис. 3. Полумеханическая топка

Поэтому часть дутьевого воздуха 5, идущего в объем зольника 6,подается в полость 4. В её наклонной поверхности выполнен ряд отверстий. Выходя струями из этих отверстий, воздух увлекает с собой мелочь и разбрасывает её по всей колосниковой решетке.

В механической топке (рис. 4) как углеподача, так и золоудаление механизированы. Дробленный уголь из бункера 1 подается питателем 2 к валу забрасывателя 3. Забрасыватель подает уголь на дальнюю поверхность цепной решетки 5. Мелочь рассеивается струями воздуха из полости 4. Забрасыватель может устанавливаться один, два или три, что зависит от

ширины топки. При этом электродвигатель у всех забрасывателей и питателей один. Решетка состоит из двух плоских цепей 5 одетых на звездочки ведомого вала 6 и ведущего вала 7.

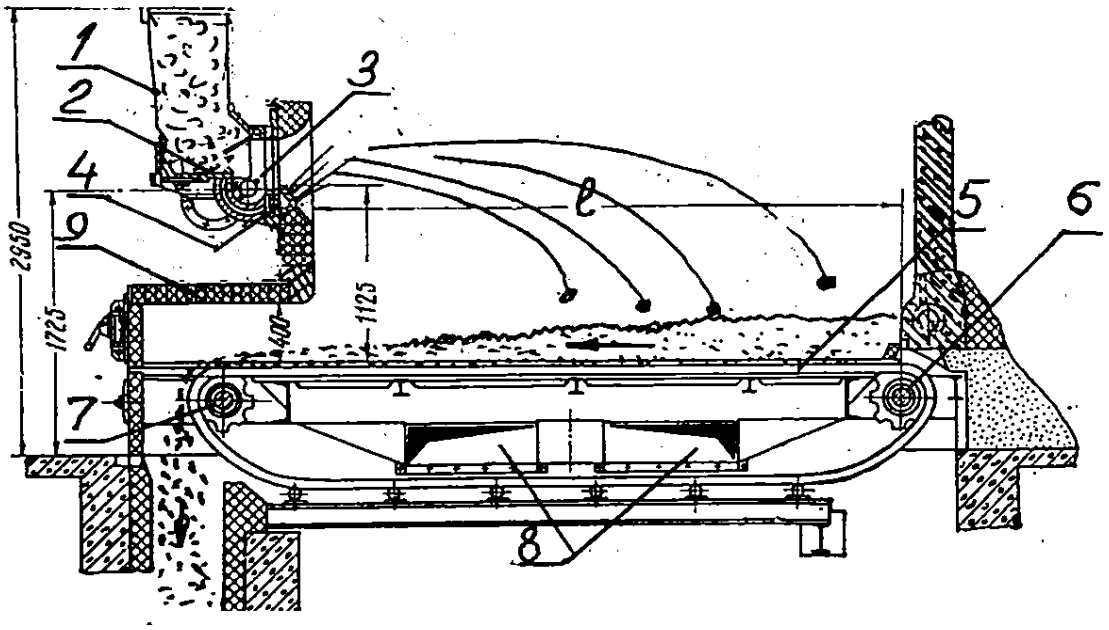


Рис. 4. Механическая топка

Привод решетки осуществляется от электродвигателя через понижающий редуктор с большим передаточным числом. Между цепями установлены ленточные или чешуйчатые колосники. Решетка имеет обратный ход, т.е вращается против часовой стрелки. Воздух под колосники подается по желобам 8. Перед сбросом золы в золотник над решеткой нависает свод 9, ускоряющий догорание угля. В этом разделе методических указаний показаны схема котла и схемы топок, заданных к расчету.

2. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ТОПКИ КОТЛА

Исходные данные к расчету тепловых процессов топки котла для студентов 131 и 132 группы берутся из табл. 1

Таблица 1

Исходные данные

№	Паропроизводительность котла D, кг/ч	Группа 131			Группа 132		
		Давление пара $p_к$, МПа	Вид топлива	Тип топки	Давление пара $p_к$, МПа	Вид топлива	Тип топки
1	2000	0.8	1	Ручн	1.4	8	Ручн
2	3000	0.8	2	Ручн	1.4	7	Ручн
3	4000	0.9	3	П.мех	1.3	30	Кам
4	5000	0.9	4	П.мех	1.3	25	Кам
5	6000	1	31	Кам	0.8	6	П.мех
6	7000	1	26	Кам	0.8	5	П.мех
7	8000	1.1	5	П.мех	0.9	4	П.мех
8	9000	1.1	6	Мех	0.9	32	Кам
9	10000	1.2	7	Мех	1	27	Кам
10	11000	1.2	33	Кам	1	3	Мех
11	12000	1.3	28	Кам	1.1	2	Мех

Окончание табл. 1

№	Паропроизводительность котла D, кг/ч	Группа 131			Группа 132		
		Давление пара $p_к$, МПа	Вид топлива	Тип топки	Давление пара $p_к$, МПа	Вид топлива	Тип топки
12	13000	1.3	8	Мех	1.1	1	Мех
13	14000	1.4	9	Мех	0.8	34	Кам
14	2000	1.4	10	Ручн	0.8	29	Кам
15	3000	1.3	35	Кам	1.1	24	Ручн
16	4000	1.3	26	Кам	1.1	23	П.мех
17	5000	1.2	11	П.мех	1	22	П.мех
18	6000	1.2	12	П.мех	1	32	Кам
19	7000	1.1	13	П.мех	0.9	28	Кам
20	8000	1.1	30	Кам	0.9	21	П.мех
21	9000	1	25	Кам	0.8	20	Мех
22	10000	1	14	Мех	0.8	19	Мех
23	11000	0.9	15	Мех	1.3	34	Кам
24	12000	0.9	16	Мех	1.3	28	Кам
25	13000	0.8	31	Кам	1	18	Мех
26	14000	0.8	27	Кам	1	17	Мех

Примечание: см. примечание к табл. 4.

Таблица 2

Исходные данные для студентов направления

Хабаровск (включая)–Находка

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Производит. котла $D \cdot 10^{-3}$, кг/ч	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Давление пара $p_{к,}$ МПа	0,8	0,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	1,1	1,2	1,3
Вид топлива	1	2	3	4	32	26	5	6	7	33
Вид топки	Руч	Руч	П.м	П.м	Кам	Кам	П.м	Мех	Мех	Кам

Примечание: см. примечание к табл. 4.

Таблица 3

Исходные данные для студентов направления

Ванино–Комсомольск (включая)–Чита

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Производит. котла $D \cdot 10^{-3}$, кг/ч	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Давление пара $p_к$, МПа	1,3	1,4	1,3	1,4	1,2	1,0	0,9	1,2	1,0	1,4
Вид топлива	8	9	10	35	28	11	12	13	30	25
Вид топки	П.м	П.м	П.м	Кам	Кам	Мех	Мех	Мех	Кам	Кам

Примечание: см. примечание к табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные для студентов направления

Лена–Тында–Комсомольск (исключая)–о.Сахалин

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Производит. котла D $\cdot 10^{-3}$, кг/ч	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
Давление пара $p_к$, МПа	0,9	0,8	1,0	1,1	1,3	0,9	1,3	1,4	1,3	1,0
Вид топлива	14	15	16	17	34	27	18	19	20	21
Вид топки	Руч	Руч	П.м	П.м	Кам	Кам	П.м	Мех	Мех	Мех

Примечание: в табл. 1 № – порядковый номер студента дневной формы в классном журнале; Паропроизводительность D = (2…14) ? 10^3, кг/ч; вид топлива берется из табл. 1 приложения по заданному номеру; Вид топки: Руч – ручная, П.м – полумеханическая, Мех – механическая, Кам – камерная для газа или мазута.

2.1. Расчет необходимого объема воздуха и объема продуктов сгорания топлива

По заданному номеру топлива его состав следует взять из табл. 1 приложения. В таблице приведен состав горючей массы углей: C^r, H^r, S^r, O^r, N^r в процентах по массе, содержание золы в сухой массе A^c и содержание влаги в рабочей массе W^p.

Рабочая масса углей находится по следующим отношениям, %,

$$A^p = A^c \frac{100 - W^P}{100},$$

$$C^P = C^r \frac{100 - W^P - A^P}{100},$$

$$S^P = S^r \frac{100 - W^p - A^P}{100}, \qquad (1)$$

$$O^p = O^г \frac{100 - W^p - A^p}{100},$$

$$N^p = N^г \frac{100 - W^p - A^p}{100}.$$

Состав мазута в процентах по массе и состав газа в процентах по объему, данные в табл. 1 приложения, пересчета не требуют.

Теплота сгорания топлива $Q^p_н$ определяется по зависимостям:

– для углей и мазута, кДж/кг,

$$Q^p_н = 339{,}15C^p + 1256\,H^p - 108{,}86\,(O^p - S^p) - 25{,}1\,(9H^p + W^p); \quad (2)$$

– для газа, кДж/м^3,

$$Q^p_н = 4{,}19(30{,}2\,CO + 25{,}8\,H_2 + 85{,}5\,CH_4 + 151{,}26\,C_2H_6 + 218C_3H_8 + 283\,C_4H_{10} + 349\,C_5H_{12}). \quad (3)$$

Теоретический объем воздуха, необходимый для сжигания одного килограмма угля или мазута, или одного кубического метра газа определяется по уравнениям:

– для углей и мазута, м^3/кг,

$$V_o = 0{,}089C^p + 0{,}265\,H^p + 0{,}033\,(S^p - O^p); \quad (4)$$

– для газа, м^3/м^3,

$$V_o = 0{,}0476\,(0{,}5CO + 2CH_4 + 3{,}5C_2H_6 + 5C_3H_8 + 6{,}5\,C_4H_{10} + 7{,}5\,C_5H_{10} - O_2). \quad (5)$$

Коэффициент избытка воздуха в топке $\alpha_т$ находят по табл. 2,3,4 приложения, ориентируясь на заданный тип топки и вид угля. Для камерных топок при сжигании мазута $\alpha_т$ = 1,1, при сжигании газа $\alpha_т$ = 1,1…1,15.

Действительный расход воздуха, м^3/кг или м^3/м^3

$$V_д = V_o\,\alpha_т. \quad (6)$$

Избыточный объем воздуха, $м^3/кг$ или $м^3/м^3$,

$$\Delta V = V_д - V_o . \quad (7)$$

Объем сухих трехатомных газов, образующихся при сгорании топлива:

– для углей и мазута, $м^3/кг$,

$$V_{RO_2} = (V_{CO_2} + V_{SO_2}) = \frac{3,67C^p}{\gamma_{co_2} 100} + \frac{2S^p}{\gamma_{so_2} 100}, \quad (8)$$

где $\gamma_i = \mu_i / 22,4$ – удельная масса газа при нормальных условиях, $кг/м^3$, μ_i– молекулярная масса CO_2 и SO_2;

– для газа, $м^3/м^3$,

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12}). \quad (9)$$

Объем двухатомных газов (азота):

– для угля и мазута, $м^3/кг$,

$$V_{R_2} = 0,79\ V_o + 0,008\ N^p , \quad (10)$$

– для газа, $м^3/м^3$,

$$V_{R_2} = 0,79 V_0 + 0,01\ N_2 . \quad (11)$$

Объем водяных паров:

– для угля и мазута, $м^3/кг$,

$$V_{H_2O} = 0,0124\ (9H^p + W^p) + 0,02 V_o \alpha_т, \quad (12)$$

где 0,02 – объемная доля водяных паров в воздухе;

– для газа, $м^3/м^3$,

$$V_{H_2O} = 0,01(2CH_4 + 3C_2H_6 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10} + 6C_5H_{12}) + 0,02\ V_0\ \alpha_т. \quad (13)$$

Полный объем дымовых газов, $м^3/кг$ или $м^3/м^3$,

$$\Sigma V = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O} + \Delta V . \quad (14)$$

Объемная доля сухих трехатомных газов

$$r_{RO_2} = V_{RO_2} / \Sigma V . \quad (15)$$

Объемная доля водяных паров

$$r_{H_2O} = V_{H_2O} / \Sigma V . \quad (16)$$

Общая объемная доля трехатомных газов

$$r_п = r_{RO_2} + r_{H_2O} . \quad (17)$$

2.2. Составление теплового баланса котла

Тепловой баланс котла имеет вид, %,

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100. \quad (18)$$

Полезно использованная теплота q_1, %,

$$q_1 = \eta_к , \quad (19)$$

где $\eta_к$ – кпд котла, %. Для всех котлов, работающих на мазуте и газе, $\eta_к$ = 89%, для угольных при производительности 2000 …5000 кг/ч □ $\eta_к$ = 78%,
при 6000 …7000 кг/ч □ $\eta_к$ = 80%, при большей производительности □ $\eta_к$ = 82%.
Потеря теплоты с уходящими в атмосферу дымовыми газами q_2, %,

$$q_2 = \frac{1{,}15(\Sigma V) C_г^{/} t_г}{Q_н^р} 100 , \quad (20)$$

где $t_г$ = 120…140 – температура газов за экономайзером, ^oC; $C^{/}_г$ = 1,3 – объемная теплоемкость газов при 120…140 ^0C, кДж/м^3 · К.

Потеря теплоты от химической неполноты сгорания q_3, %, определяется по табл. 5.

Таблица 5

Числовые значения q_3

Вид топки	Ручная	Полумеханическая	Механическая	Камерная	
				мазут	газ
q_3, %	2…3	1	0,5 …1	2	1…1,5

Потеря теплоты от механической неполноты сгорания q_4 ,%.

Зависит от типа топки и марки угля и определяется по табл. 2, 3, 4 приложения. Для газа и мазута $q_4 = 0$.

Потеря теплоты с горячим шлаком q_6, %,

$$q_6 = \frac{419 A^p}{Q_н^p} . \qquad (21)$$

Для мазута и газа $q_6 = 0$.

Потеря теплоты на внешнее охлаждение поверхностей q_5, %,

$$q_5 = 100 – (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_6) . \qquad (22)$$

Тепловая производительность котла $Q_к$, кДж/ч,

$$Q_к = D (h^{II} - h_{п.в}) + D_{пр} (h^{I} - h_{п.в}) , \qquad (23)$$

где h^{II} – энтальпия (теплосодержание) сухого насыщенного пара при давлении в котле $p_к$, кДж/кг; $h^{I} = 4,19\ t^{I}$ – энтальпия кипящей в котле воды, кДж/кг;
$h_{пв} = 4,19\ t_{п.в}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг.

Значения $h^{//}$ и $t^{/}$ берут из табл. 5 приложения по заданному давлению в котле $p_к$. Температуру питательной воды $t_{п.в}$ принимают равной 100 ^{0}C;
$D_{пр} = D\ i/100$ – количество воды, удаляемой из котла при продувках, кг/ч.
Процент продувки i для всех котлов взять равным 3 %.

Часовой расход топлива, кг/ч, или м^3/ч,

$$B_ч = 100\ Q_к / Q_н^p \eta_к . \qquad (24)$$

2.3. Определение температуры газов в зоне горения топлива

Расчет энтальпии топочных газов, кДж/кг или кДж/м^3, производится по формуле

$$H=(V^{RO_2} C^{l}_{mp}{}^{RO_2} + V^{R_2}\ C^{l}_{mp}{}^{R_2} + V^{H_2O} C^{l}_{mp}{}^{H_2O} + \Delta V C^{l}_{mpBB})t_т, \qquad (25)$$

где $C^{/}_{mpi}$ – средняя объемная изобарная теплоемкость i-го компонента продуктов сгорания, кДж/м^3 · К (табл. 6 приложения). Расчет энтальпии H проводится дважды: при температуре топочных газов $t_т$ = 900 ^{0}C и $t_т$ = 2000 ^{0}C.

Построение диаграммы H – t топочных газов производится по H_{900} и H_{2000} на рис. 5.

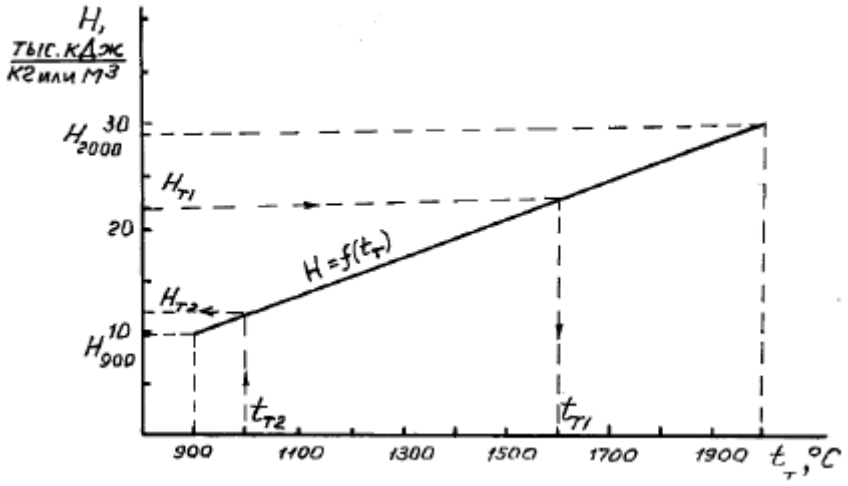


Рис. 5. Диаграмма H – t дымовых газов

Тепловыделение в топке на один килограмм угля или мазута, кДж/кг, или один метр кубического газа, кДж/м^3, определяется по формуле

$$H_{T1} = Q^{p}_{н} \left(\frac{100 - q_3 - q_4}{100} \right) + Q_B + q + Q_ф, \qquad (26)$$

где $Q_B = \alpha_т V_o C^{l}_{mpBB} t_B$ – теплота, внесенная в топку влажным воздухом, кДж/кг или кДж/м^3; C^{l}_{mpBB} = 1,32 – объемная теплоемкость воздуха, кДж/м^3 · К; t_B = 30 – температура дутьевого воздуха, ^{0}C; $q = C_т t$ – теплота внесенная в топку топливом, кДж/кг или кДж/м^3; $C_т$ – теплоемкость топлива. Для угля $C_т$ = 1,05 кДж/кг · К, для мазута $C_т$ = 2,1 кДж/кг · К, для газа $C_т$ = 1,672 кДж/м^3 · К; t – температура топлива, ^{0}C. Для угля и газа можно принять t = 20 ^{0}C, для мазута t = 100 ^{0}C; $Q_ф = W_ф h^{//}$ – теплота, вносимая в топку паром, кДж/кг. Имеет место при сжигании мазута. Расход пара $W_ф$ принимается для паромеханических форсунок равным 0,02…0,03 кг на один килограмм

мазута. Энтальпия пара h^{II} = 2580 кДж/кг при давлении перед форсункой 0,15…0,2 МПа.

Температура горения t_{T1}, ^{0}C, определяется по значению H_{T1} по графику рис. 5. Порядок определения t_{T1} показан стрелками.

2.4. Расчет геометрических параметров топки

Часовая теплота, кДж/ч, внесенная в топку

$$Q_ч = H_{T1} B_ч . \quad (27)$$

Площадь колосниковой решетки для угольных топок, м^2,

$$R^{/} = Q_ч / q_R, \quad (28)$$

где q_R – удельный теплосъем с квадратного метра колосниковой решетки, кДж/м^2•ч. Значение q_R берется из табл. 2, 3, 4 приложения по заданному типу топки и виду угля.

Высота топки $h_т$, м, принимается равной 2,5 … 3 м для котлов производительностью 2000 … 9000 кг/ч и 4 … 4,5 м для котлов большей производительности.

Ширина топки b, м, и её длинаL, м, для ручных и полумеханических топок определяется по табл.7 приложения. При этом $R^{/}$, найденную по формуле (28), следует округлить до ближнего табличного значения R.

Ширина топки b, м, для механической топки определяется по табл. 8 приложения. При этом $R^{/}$ также округляют до ближнего табличного значения R.

Длина механической топки, м,

$$L = R / b. \quad (29)$$

Объем угольной топки, м^3,

$$V_y = R\, h_т. \quad (30)$$

Объем топки, м^3, для котлов с мазутным или газовым отоплением находят как

$$V_г = Q_ч / q_v,\ V_м = Q_ч / q_{v.}, \quad (31)$$

где $q_v = 10^6$ (для всех камерных топок) – тепловое напряжение топочного объема, кДж/м^3 • ч.

Расчетная площадь пода камерной топки, м^2,

$$R'_г = V_г / h_т,\ R'_м = V_м / h_т\ , \qquad (32)$$

где $h_т$ = 2,5 …3 м для котлов производительностью 2000 … 9000 кг/ч и $h_т$ = 4 … 4,5 м для котлов большей производительности. Рекомендуется принимать значения $h_т$, дающие площади $R_г$ или $R_м$ следующего пункта.

Ширина камерной топки “b”, м, берется из табл. 7 приложения, если $R_г$ или $R_м$ меньше или равна 9,52 м^2, и из табл. 8 приложения, если больше 9,52 м^2. Здесь $R_г$ и $R_м$ округленные в ближнюю сторону $R'_г$ или $R'_м$.

Длина камерной топки, м,

$$L = R_г / b,\ L = R_м / b. \qquad (33)$$

Длина камеры догорания топок $L_к$ = 0,3 м – для котлов производительностью 2000 … 6000 кг/ч и $L_к$ = 0,745 м – для других котлов.

Ширина камеры догорания $b_к$, м, равна ширине топки “b”.

2.5. Площади поверхностей топки и камеры догорания

Площадь боковых стен топки и камеры догорания, м^2,

$$F_{БС} = 2\ h_т L + 2\ h_к\ L_к, \qquad (34)$$

где $h_к$ = 1,6 – средняя высота камеры догорания для всех котлов, м.

Площадь передней и задней стенок топки с учетом передней и задней поверхностей камеры догорания, м^2,

$$F_{пз} = 2h_т\ b + 2\ h_к\ b_k. \qquad (35)$$

Площадь потолка топки с учетом потолка камеры догорания, м^2,

$$F_{пт} = R + b_к\ L_к\ . \qquad (36)$$

Площадь пода топки и камеры догорания, м^2,

$$F_п = R + b_к\ L_к. \qquad (37)$$

Общая поверхность топки, воспринимающая тепловое излучение, м^2,

$$F_т = F_{БС} + F_{ПЗ} + F_{ПТ} + F_П, \qquad (38)$$

где $F_п$ – для угольных топок упускается.

Число труб одного бокового экрана топки

$$n = L / S_1, \quad (39)$$

где $S_1 = 0,08$ – шаг труб бокового экрана (расстояние между осями труб), м. Число труб следует округлить до целого числа.

Площадь поверхности труб обоих боковых экранов, $м^2$,

$$F_{ЭБ} = 2\, n\, \pi\, d_1\, h_т\ , \quad (40)$$

где $d_1 = 0,051$ – диаметр труб экранов, м.

Число экранных труб на обоих боковых стенках камеры догорания

$$n_к = 2\, L_к / S_1. \quad (41)$$

Число труб округлить до целого числа, кратного двум.

Площадь экранных труб камеры догорания

$$F_{ЭК} = n_к\, \pi\, d_1\, h_{к.} \quad (42)$$

Общая площадь экранных труб топки, $м^2$,

$$F_{ЭТ} = F_{ЭБ} + F_{ЭК}\ . \quad (43)$$

Число труб первого ряда кипятильных труб на задней стенке камеры догорания

$$n_{кк} = b_к / S_2, \quad (44)$$

где $S_2 = 0,11$ – поперечный шаг труб первого ряда кипятильного пучка, м.

Поверхность труб первого ряда кипятильных труб, $м^2$,

$$F_{кк} = n_{кк\pi}\, d_1 h_к. \quad (45)$$

Общая площадь поверхности труб топки, $м^2$,

$$F_Э = F_{эт} + F_{кк}. \quad (46)$$

Поверхность труб топки, воспринимающая тепловое излучение, $м^2$,

$$F_л = F_{эт}\, x + F_{кк}, \quad (47)$$

где $x = 0,78$ – угловой коэффициент экрана

2.6. Расчет температуры газов на выходе из топки

Коэффициент загрязнения поверхностей $\zeta = 0,8$ – при сжигании газа и $\zeta = 0,6…0,7$ – при сжигании мазута и угля.

Коэффициент сохранения теплоты в топке

$$\varphi = 1 - 0,005\, q_5. \qquad (48)$$

Степень экранирования поверхностей топки

$$\psi = F_л / F_т. \qquad (49)$$

Отношение площади зеркала горения топки к лучевоспринимающей поверхности топки

$$Y = R / F_л, \qquad (50)$$

где Y – при сжигании мазута или газа в дальнейшем не потребуется и из расчета исключается.

Абсолютная температура топочных газов, К,

$$T_{T_1} = t_{T_1} + 273, \quad T_{T_2} = t_{T_2} + 273, \qquad (51)$$

где T_{T_2} – предварительно задается равной 1000^0С и представляет температуру газов на выходе из камеры догорания.

Средняя теплоемкость всего объема топочных газов, кДж/К,

$$(V_c)_m = \frac{\Sigma(VC'_{mp1})t_{T_1} - \Sigma(VC'_{mp2})t_{T_2}}{t_{T_1} - t_{T_2}}, \qquad (52)$$

где $\Sigma (VC'_{mp1})\, t_{T1}$ и ?$(VC'_{mp2})\, t_{T2}$ – определяются по уравнению (25).

Эффективная толщина излучающего слоя, м,

$$S = 3,6\frac{V_y}{F_T}, \quad S = 3,6\frac{V_Г}{F_T}, \quad S = 3,6\frac{V_м}{F_T}. \qquad (53)$$

Произведение p_n на S

$$p_nS = S\, r_n. \qquad (54)$$

Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами $k_г$. Он определяется по номограмме рис. 6 по входной величине r_{H2O}, значению p_nS и температуре $t_{T2} = 1000\ ^0C$. Схема определения $k_г$ показана стрелками.

Коэффициент ослабления лучей несветящимся пламенем

$$k_{H.CB} = k_г\, r_п. \qquad (55)$$

Коэффициент ослабления лучей светящимся пламенем

$$k_{св} = 1{,}6\,\frac{T_{T_2}}{1000} - 0{,}5. \qquad (56)$$

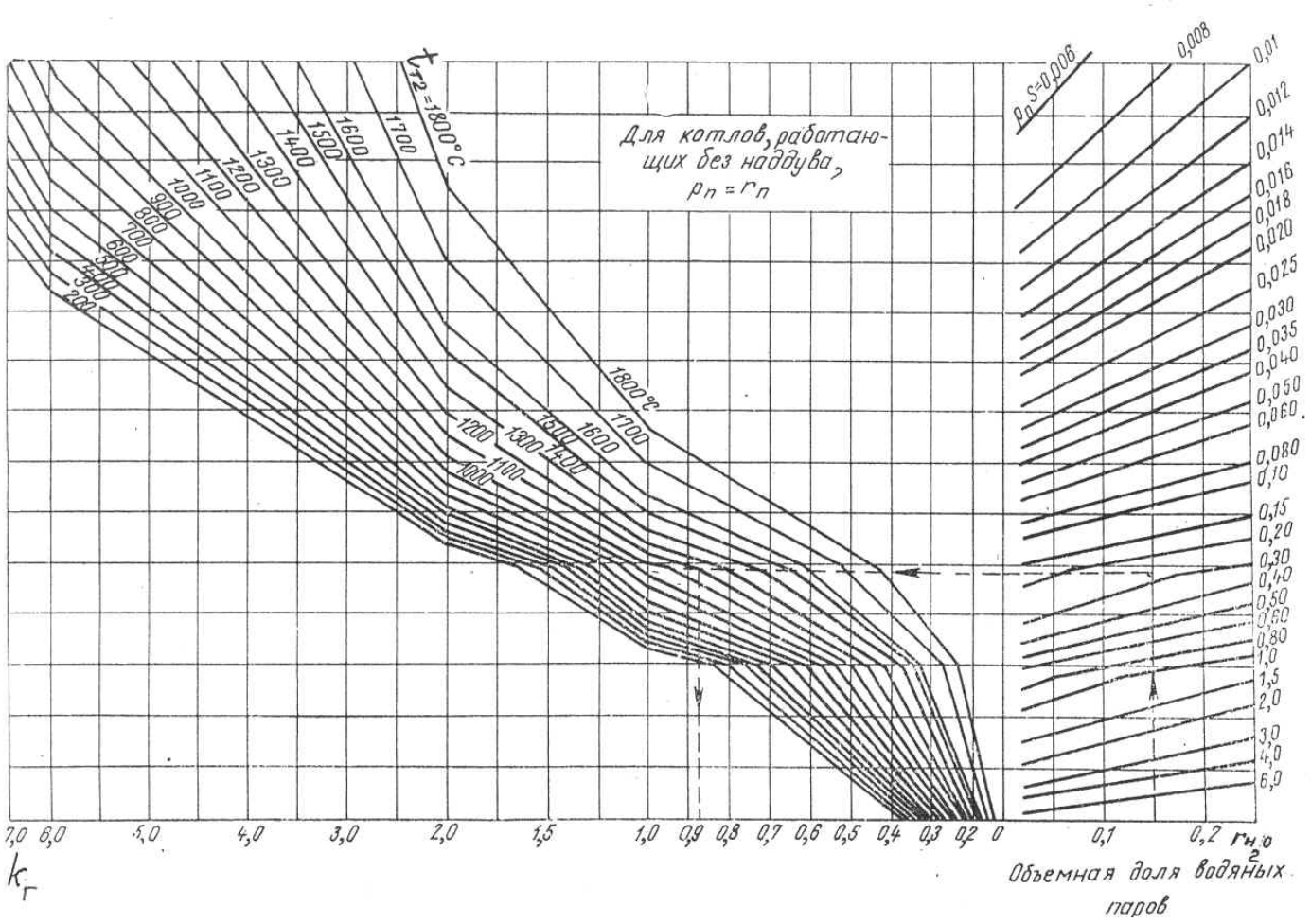


Рис. 6. Номограмма для определения значения коэффициента ослабления лучей трехатомными газами

Степень черноты светящихся компонентов пламени

$$a_{св} = 1 - e^{-k_{св} r_n S}, \quad (57)$$

где e = 2,718 – основание натуральных логарифмов.

Степень черноты несветящихся компонентов пламени

$$a_{н.св} = 1 - e^{-k_{н.св} r_n S}. \quad (58)$$

Степень черноты факела

$$a_ф = a_{св}\, m + a_{н.св}\,(1 - m), \quad (59)$$

где m = 0,4 …0,6 – для угля и мазута и m = 0 – для газа.

Степень черноты слоевых (угольных) топок

$$a_т = \frac{a_ф + (1 - a_ф)Y\psi}{1 - (1 - Y\psi)(1 - Y\psi)(1 - a_ф)}. \quad (60)$$

Степень черноты камерных (мазутных и газовых топок)

$$a_т = \frac{a_ф}{a_ф + (1 - a_ф)\psi\zeta}. \quad (61)$$

Коэффициент X находится по формуле

$$X = h_1 / h_2, \quad (62)$$

где X = 0 – для углей; h_1 = 1 – расстояние между подом топки и осью мазутной или газовой форсунок, м; h_2 – расстояние от пода топки до середины входного окна из топки в камеру догорания, м. Для котлов паропроизводительностью 2000 …9000 кг/ч h_2 = 1,2 …2,2м, пропорционально принятой ранее высоте топки. Для котлов большей производительности h_2 = 3,2 … 3,7 м, также пропорционально высоте топки.

Расчетный коэффициент M определяется по формуле

$$M = A + BX, \quad (63)$$

где A = 0,52, B = 0,3 для всех видов топок.

Расчетная температура топочных газов на выходе из топки, ^{0}C,

$$t_{T_2} = \frac{T_{T1}}{M\left(\frac{4{,}9 \cdot 10^{-8} \cdot \zeta F_л a_T \cdot T^3_{T1}}{\varphi B_ч \cdot (V_c)_m}\right)^{0{,}6} + 1} - 273. \quad (64)$$

Если значение t_{T2}, определенное по формуле (64), будет отличаться более чем на 50^{0}C от ранее принятого значения t_{T2} = 1000^{0}C, то задаются новым значением t_{T2} большим или меньшим ранее принятого t_{T2} = 1000 ^{0}C. Затем

проводят новые расчеты по формулам (51), (52), определяют $k_г$, (55), (56), (57), (58), (59), (60) или (61). В отчет включают окончательный расчет.

Энтальпия дымовых газов на выходе из топки $H_{т2}$, кДж/кг или кДж/м^3, определяется по диаграмме рис. 5 по уточненному значению $t_{т2}$.

Теплота, переданная экранным трубам топки и трубам камеры догорания тепловыми лучами, кДж/кг или кДж/м^3,

$$q_л = a_Т (H_{т1} – H_{т2}). \quad (65)$$

Теплота, полученная трубами теплоотдачей от горячих газов, кДж/кг или кДж/м^3,

$$q_? = (H_{Т1} – H_{т2}) – q_л. \quad (66)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Вид и состав топлив различных месторождений

№	Наименование	$C^г$,%	$H^г$,%	$S^г$,%	$O^г$,%	$N^г$,%	A^c,%	W^p,%
1	Каменный уголь ГР	82	5,7	0,7	10,6	1	11	8
2	Бурый уголь БЗР*	69,1	5,6	0,6	23,3	1,4	32	24
3	Каменный уголь ГР	84,5	5,1	0,6	8,6	1,2	34	5,5
4	Каменный уголь ДР	77,5	6,2	0,5	14,9	0,9	32	6
5	Каменный уголь ГО	80,9	5,7	0,6	11,5	1	32	7,5
6	Бурый уголь Б2Р	71,0	4,3	0,6	23	1	15	37,5
7	Каменный уголь ДР	78,8	6,1	0,5	13,8	1,6	23	10
8	Каменный уголь ГР	81	5,9	0,5	10,6	2	20	10
9	Каменный уголь ЖО	86	5,9	0,4	6	1,7	13	6
10	Каменный уголь ССР	85,4	4,4	0,3	9	0,9	18	7
11	Бурый уголь БЗР	74,3	5,7	1	8,2	1,1	17	22

12	Бурый уголь БЗР	75,5	5,2	1,2	17	1,1	22	23
13	Каменный уголь ДР	78,6	5,1	0,5	14	1,4	19,4	6
14	Каменный уголь ДО	76,9	5,4	0,6	16	1,1	23	7,5
15	Каменный уголь ДО	77	5,6	1,6	14,7	1,1	31	13
16	Каменный уголь ДО	80	5,2	0,7	11,8	2,3	17	12
17	Бурый уголь БЗР	74	5,2	0,3	19,7	0,8	8	24
18	Каменный уголь ГР	78	5,5	0,4	13,7	2,4	12,5	11
19	Каменный уголь ССР	86	4,5	0,6	6,7	2,2	15	8
20	Каменный уголь ДР	76,5	5	0,4	15,9	2,2	13,5	17,3
21	Каменный уголь ЖК	81,3	5,5	0,5	10,1	2,6	9	8
22	Каменный уголь ГО	81	5,3	0,5	13,2	2,3	12	10,5
23	Антрацит АР	91,8	3,2	0,6	2,6	1,8	13,5	6
24	Антрацит АР	93,5	2,1	0,4	2	2	22,5	8
	Мазут	C^p,%	H^p,%	S^p,%	O^p,%	N^p,%	A^p,%	W^p,%

Продолжение табл. 1

№	Наименование	$C^г$,%	$H^г$,%	$S^г$,%	$O^г$,%	$N^г$,%	A^c,%	W^p,%
25	Мазут М100	85,2	10,2	0,5	0,8	–	0,3	3
26	Мазут М100	83,1	10	2,9	0,7	-	0,3	3
27	Мазут М100	82,9	10,2	2,9	0,7	-	0,3	3
28	Мазут М100	84,8	10,6	0,5	0,8	-	0,3	3
29	Мазут М100	86	9,3	0,5	0,9	-	0,3	3
	Газ	CH_4,%	C_2H_6,%	C_3H_8,%	C_4H_{10},%	C_5H_{10},%	N_2,%	
30	Шебелинский	89,9	3,1	0,9	0,4	1	4,7	
31	Ставропольский	98	0,4	0,2	0,4	-	1	
32	Ухтинский	88	1,9	0,2	0,3	1,5	8,1	
33	Газлинский	94, 2	1,6	0,1	0,8	0,9	2,4	
34	Сахалинский	95	2,2	0,6	0,8	0,2	1,2	
35	Саратовский	84,5	3,8	1,9	0,9	1,1	7,8	

Продолжение приложения

Таблица 2

Расчетные характеристики ручной топки с поворотными колосниками

Вид углей	Бурые	Каменные	Антрациты
Тепловое напряжение зеркала горения $q_R \cdot 10^{-6}$, кДж/м^2·ч	2,9	3,3	3,1
Коэффициент избытка воздуха, $?_т$	1,45	1,45	1,45
Потери от механической неполноты сгорания q_4,%	9	7	12

Таблица 3

Расчетные характеристики полумеханических топок с поворотными колосниками

Вид углей	Бурые	Каменные	Антрациты
Тепловое напряжение зеркала горения $q_R \cdot 10^{-6}$, кДж/м^2 · ч	3,3 …3,7	3,3 … 7,7	3,3 …3,7
Коэффициент избытка воздуха, $?_т$	1,4	1,4	1,6
Потери теплоты от механической неполноты сгорания q_4, %	10	7	12…18

Таблица 4

Расчетные характеристики механических топок с цепной решеткой

Вид углей	Бурые	Каменные	Антрациты
Тепловое напряжение зеркала горения $q_R \cdot 10^{-6}$, кДж/м^2 ·ч	3,7 …4,6	4,2 … 5,8	2,9 …4,2
Коэффициент избытка воздуха, $?_т$	1,3	1,3	1,5
Потери теплоты от механической неполноты сгорания q_4, %	9	6	7

Таблица 5

Параметры сухого насыщенного пара

Давление в котле $p_к$, МПа	Температура кипения воды $t^{|}$,^{0}C	Энтальпия пара $h^{//}$, кДж/кг
0,8	169,6	2770
0,9	174,5	2775
1,0	179	2779

1,1	183,2	2782
1,2	187,1	2786
1,3	190,7	2789
1,4	194,1	2791

Окончание приложения

Таблица 6

Средние объемные изобарные теплоемкости

t ^{0}C	$C'_{mp}{}^{RO_2}$, кДж/м^3 ?К	$C'_{mp}{}^{R_2}$, кДж/м^3 ?К	$C'_{mp}{}^{H_2O}$, кДж/м^3 ?К	C'_{mpBB}, кДж/м^3 ?К
800	2,0411	1,3716	1,6680	1,3842
900	2,1805	1,3845	1,6967	1,3976
1000	2,2156	1,3942	1,7242	1,4097
1100	2,2471	1,4089	1,7514	1,4214
1200	2,2764	1,4202	1,7782	1,4327
1300	2,3024	1,4306	1,8042	1,4432
1400	2,3267	1,4407	1,8280	1,4528
1500	2,3489	1,4499	1,8527	1,4620
1600	2,3694	1,4587	1,8761	1,4708
1700	2,3887	1,4671	1,8996	1,4788
1800	2,4067	1,4746	1,9213	1,4867
1900	2,4230	1,4821	1,9423	1,4939
2000	2,4385	1,4888	1,9628	1,5010

Таблица 7

Основные размеры колосниковых решеток ручных и полумеханических топок

Типоразмер решетки	Размеры		Площадь зеркала горения R, м^2	Число забрасывателей угля
	b,м	L, м		
ПМЗ-0-1800/1000	1,8	1,0	1,8	–
ПМЗ-2-1800/1525	1,8	1,525	2,74	2
ПМЗ-2-2200/1525	2,2	1,525	3,36	2
МПЗ-2-1800/2136	1,8	2,136	3,84	2
ПМЗ-2-2200/2135	2,2	2,135	4,7	2
ПМЗ-3-2600/2135	2,6	2,135	5,5	3
ПМЗ-2-2200/2745	2,2	2,745	6,05	2
ПМЗ-2-2200/3050	2,2	3,05	6,71	2
ПМЗ-3-3300/2135	3,3	2,135	7,0	3
ПМЗ-3-2600/3050	2,6	3,05	7,93	3
ПМЗ-3-2600/3660	2,6	3,66	9,52	3

Таблица 8

Основные размеры цепных решеток механических топок

Размеры		Площадь зеркала горения R, м^2	Скорость движения решетки, м/ч	Мощность электродвигателя, кВт
ширина b, м	длина ?/, м			
1,26	5,5	5,5	2,9 … 21,7	2
1,63	5,5	7,0	–	–
2,00	5,5	8,5	–	3
2,37	5,5	10,5	–	–
2,37	6,5	13	–	–
3,11	5,5	14	2,7 …20,9	–
3,11	6,5	17	–	–
3,85	6,5	21	–	4,5
3,85	7,9	25,3	–	–

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, Ю.П. Основы проектирования котельных установок / Ю.П. Гусев. – М.: Стройиздат, 1973. – 248 с.

2. Энергетическое топливо СССР. – М.: Энергоиздат, 1979. – 126 с.

3. Мурзин, Л.Г. Топливо, смазка, вода / Л.Г Мурзин, В.М. Гончаров. –М.: 1981. – 253 с.

4. Касаткин, И.И. Справочное пособие для теплотехников промышленных предприятий / И.И. Касаткин. – Минск, 1963. – 304 с.

Владимир Макарович Баранов

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ТОПКИ КОТЛА

Методические указания

по выполнению курсовой работы для студентов

ИТиПС и ИИФО специальности “Локомотивы”