РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КОТЛЫ ПАРОВЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ

РАСЧЕТЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПО СОСТАВУ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ И РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

РТМ 108.130.02—84

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ указанием Министерства энергетического машиностроения от 06.07.84 № АЗ-002/5192

ИСПОЛНИТЕЛИ: А. А. ШАТИЛЬ, канд. техн. наук (руководитель темы);
С. Л. ШАГАЛОВА, канд. техн. наук (руководитель темы);
Л. К. СОЛОВЬЕВ; А. А. ШАТИЛЬ; Г. М. МОРОШКИНА;
Т. А. МИНИНА; М. И. ЯНКЕЛЕВИЧ

© Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (НПО ЦКТИ), 1985.

УДК 621.18:536.2.001.24

Группа Е21

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КОТЛЫ ПАРОВЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ

РАСЧЕТЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПО СОСТАВУ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ И РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

РТМ 108.130.02—84

Введен впервые

Указанием Министерства энергетического машиностроения от 06.07.84 № АЭ-002/5192 срок действия установлен

с 01.07.85
до 01.07.90

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) распространяется на котлоагрегаты, работающие на твердых, жидких и газообразных топливах, а также на их смесях.

РТМ устанавливает методику обработки данных испытаний топок стационарных котлов, а также результатов специальных исследований процесса горения.

РТМ дополняет ОСТ 108.030.132—80, существующую методику теплотехнических испытаний и нормативный метод теплового расчета котельных агрегатов, по данным которого составлена таблица обобщенных и приведенных характеристик топлив СССР.

В справочном приложении 1 помещены примеры расчетов

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1.1. Обозначения для топлива:

$Q_н^р$ — теплота сгорания (низшая) на рабочую массу, кДж/кг (ккал/кг);

$W^р$ — влажность на рабочую массу, %;

$W^п$ — приведенная влажность топлива, $(10^3$ кг·%)/кДж [$(10^3$ кг·%)/ккал];

$A^р$ — зольность на рабочую массу, %;

$A^п$ — приведенная зольность топлива, $(10^3$ кг·%)/кДж [$(10^3$ кг·%)/ккал];

$H^р$ — содержание водорода на рабочую массу, %;

$O^р$ — содержание кислорода на рабочую массу, %;

$C^р$ — содержание углерода на рабочую массу, %;

$N^р$ — содержание азота на рабочую массу, %;

$V^г$ — содержание летучих на горючую массу, %;

β — характеристика горючей массы топлива (топливная характеристика);

B — расход топлива, кг/с (т/ч);

q — доля топлива в смеси по теплу;

g — доля топлива в смеси по массе.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

1.2. Обозначения для воздуха (окислителя):

$O_2^{ок}$ — объемное содержание кислорода, %;

$N_2^{ок}$ — объемное содержание азота, %;

x — объемная доля кислорода в окислителе, %;

α — коэффициент избытка воздуха на поданное топливо;

$\alpha^{с}$ — коэффициент избытка воздуха на сгоревшее топливо;

V^0 — стехиометрическое количество воздуха (при $\alpha=1$), м³/кг;

L^0 — стехиометрическое количество воздуха (при $\alpha=1$), кг/кг;

$V_в$ — количество воздуха на 1 кг топлива, м³/кг;

$g_в$ — доля воздуха (от общего его расхода);

$G_в$ — расход воздуха, кг/с.

1.3. Обозначения для дымовых газов:

H_2 — объемное содержание водорода, %;

CO — объемное содержание окиси углерода, %;

CH_4 — объемное содержание метана, %;

O_2 — объемное содержание кислорода, %;

N_2 — объемное содержание азота, %;

CO_2 — объемное содержание двуокиси углерода, %;

SO_2 — объемное содержание двуокиси серы, %;

RO_2 — объемное содержание трехатомных газов, %;

RO_{2max} — максимальное содержание трехатомных газов (при $\alpha=1$), %;

H_2O — объемное содержание водяных паров, %;

V_{H_2} — объем водорода, м³/кг;

V_{CO} — объем окиси углерода, м³/кг;

V_{CH_4} — объем метана, м³/кг;

V_{O_2} — объем кислорода, м³/кг;

V_{N_2} — объем азота, м³/кг;

V_{CO_2} — объем двуокиси углерода, м³/кг;

V_{RO_2} — объем трехатомных газов, м³/кг;

V_{H_2O} — объем водяных паров, м³/кг;

$V^0_{с.г}$ — теоретический объем сухих газов (при $\alpha=1$), м³/кг;

$V^0_{в.г}$ — теоретический объем влажных газов (при $\alpha=1$), м³/кг;

$V_Σ$ — суммарный объем газов, м³/кг;

r — доля рециркулирующих газов;

c — теплоемкость, кДж/(м³·К) [ккал/(м³·°С)];

I — теплосодержание, кДж/м³ (ккал/м³);

$T(t)$ — температура, К (°С);

ϑ — температура газов, К (°С);

$\rho_{г.о}$ — плотность дымовых газов (при $\alpha=1$), кг/м³;

$G_г$ — расход газов, кг/с;

w — скорость, м/с.

1.4. Обозначения для теплового баланса котла (топки):

q_1 — полезное тепловыделение, %;

q_2 — потеря тепла с уходящими газами, %;

q_3 — потеря тепла с химическим недожогом, %;

q_4 — потеря тепла с механическим недожогом, %;

q_5 — потеря тепла в окружающую среду, %;

q_6 — потеря тепла со шлаком, %;

$\eta_{бр}$ — КПД котла (брутто), %;

$\beta^{с.г}$ — степень выгорания.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ И ПРИВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВ

2.1. *Обобщенная характеристика — максимальное количество трехатомных газов* определяется по составу сухих дымовых газов

$$RO_{2max} = \frac{21(RO_2 + CO + CH_4)}{21 - (O_2 - 0{,}2H_2 - 0{,}4CO - 1{,}6CH_4)}.$$

2.1.1. Величина RO_{2max} связана с топливной характеристикой β соотношением

$$RO_{2max} = \frac{21}{1 + \beta}.$$

Используя зависимости для твердых и жидких топлив

$$\beta = 2{,}37\frac{H - 0{,}126O + 0{,}04N}{C + 0{,}375S},$$

для газообразных

$$\beta = \frac{0{,}21N_2 + 0{,}39CO + 0{,}40H_2 + 1{,}58CH_4 + 2{,}39C_nH_m - 0{,}79O_2}{CO_2 + CO + CH_4 + 2C_nH_m} - 0{,}79,$$

можно рассчитать RO_{2max} по составу топлива.

2.1.2. При сжигании топлива известного и стабильного состава по значению RO_{2max} проверяется правильность результатов газового анализа дымовых газов. Расхождение опытного и приведенного в табл. 1 значений RO_{2max} в этом случае не должно превышать 0,2% (абсолютных) при наличии механического недожога не более 2%.

Для топлив неизвестного и переменного состава необходимо использовать опытные значения RO_{2max}, определенные путем усреднения результатов многократных измерений состава дымовых газов за котлом, с введением плюсовой поправки на механический недожог, если он превышает 2% (см. п. 3.4.2).

2.2. Обобщенная характеристика — отношение теоретического объема сухих дымовых газов $V^0_{с.г}$ к стехиометрическому объему сухого воздуха V^0

$$\gamma = \frac{79}{100 - RO_{2max} - 0{,}8N^p/V^0_{с.г}}.$$

2.2.1. В большинстве энергетических топлив содержание азота не превышает 3% и расчетная формула для них имеет вид

$$\gamma = \frac{79}{100 - RO_{2max}}.$$

2.3. Обобщенная характеристика, используемая для расчета коэффициента избытка воздуха,

$$n = \frac{21}{\gamma\, RO_{2max}}.$$

2.4. Приведенные влажность и зольность топлива:

$$W^п = \frac{W^p 10^3}{Q^p_н}; \quad A^п = \frac{A^p 10^3}{Q^p_н}.$$

2.5. Обобщенная характеристика — отношение теоретического объема сухих дымовых газов $V^0_{с.г}$ к теоретическому объему влажных дымовых газов $V^0_{в.г}$.

2.5.1. Для твердых топлив ее можно определять по формуле

$$B_{в.г} = \frac{\gamma(1 + 0{,}025W^п)}{2 - \gamma + 0{,}088W^п}.$$

Значения $B_{в.г}$ для всех топлив указаны в табл. 1.

2.6. Обобщенный параметр — теплота сгорания топлива на 1 м³ воздуха при $\alpha = 1$

$$Q_в = \frac{10^3}{a(1 + 0{,}025W^п)},$$

где обобщенный параметр a принимается по табл. 1.

Таблица 1

Обобщенные и приведенные характеристики топлив

Бассейн, месторождение, класс	Марка угля	$Q_н^р$, кДж/кг (ккал/кг)	$V^г$, %	$W^н$, $(10^3$ кг · %)/кДж [$(10^3$ кг · %)/ккал]	$A^н$, $(10^3$ кг · %)/кДж $(10^3$ кг · %)/ккал]	RO_{2max}, %	γ	n	p, кДж/м³ (ккал/м³)	$Q_в$, кДж/м³ (ккал/м³)	$B_{в.г}$	a, м³/кДж (м³/ккал)	ψ	$\rho_{г.о}$, кг/м³
Донецкий, отсев	Д	17 750 (4240)	44,0	0,79 (3,30)	1,45 (6,08)	18,53	0,971	1,167	3830 (915)	3730 (890)	0,880	0,263 (1,10)	0,125	1,33
Донецкий, отсев	Г	19 800 (4730)	40,0	0,55 (2,32)	1,35 (5,64)	18,61	0,973	1,160	3930 (940)	3810 (910)	0,893	0,258 (1,08)	0,105	1,33
Донецкий, рядовой	Т	24 200 (5780)	15,0	0,21 (0,87)	0,98 (4,11)	18,95	0,977	1,135	3830 (915)	3770 (900)	0,925	0,265 (1,11)	0,062	1,36
Донецкий, штыб	А	22 560 (5390)	3,5	0,38 (1,58)	1,01 (4,24)	20,07	0,990	1,057	3770 (900)	3730 (890)	0,945	0,265 (1,11)	0,057	1,37
Донецкий, ППМ	Ж	18 000 (4300)	30,0	0,50 (2,09)	1,97 (8,26)	18,71	0,975	1,151	3890 (930)	3770 (900)	0,931	0,263 (1,10)	0,096	1,35
Кузнецкий, рядовой	Д	22 810 (5450)	12,0	0,53 (2,20)	0,58 (2,42)	18,74	0,975	1,149	3890 (930)	3790 (905)	0,892	0,260 (1,09)	0,107	1,33
Кузнецкий, рядовой	Г	26 120 (6240)	10,0	0,32 (1,36)	0,42 (1,76)	18,62	0,968	1,155	3930 (940)	3790 (905)	0,897	0,260 (1,09)	0,088	1,34
Кузнецкий, отсев	2СС	24 570 (5870)	21,0	0,37 (1,53)	0,74 (3,10)	18,87	0,975	1,141	3850 (920)	3770 (900)	0,912	0,263 (1,10)	0,079	1,35
Кузнецкий, отсев	Т	26 160 (6250)	13,0	0,25 (1,04)	0,65 (2,7)	19,13	0,979	1,121	3890 (930)	3830 (915)	0,926	0,260 (1,09)	0,064	1,36
Кузнецкий, ППМ	ЖК, ОС	20 930 (5000)	23,0	0,33 (1,40)	1,47 (6,14)	18,76	0,974	1,147	3915 (935)	3830 (915)	0,913	0,260 (1,09)	0,075	1,35
Кузнецкий, Томусинское, рядовой	СС	22 560 (5390)	25,0	0,53 (2,22)	0,84 (3,51)	18,88	0,977	1,139	3850 (920)	3770 (900)	0,905	0,263 (1,10)	0,094	1,34
Карагандинский, ППМ	К	16 240 (3880)	30,0	0,62 (2,58)	2,38 (9,97)	18,81	0,972	1,148	3830 (915)	3770 (900)	0,894	0,263 (1,10)	0,104	1,34
Экибастузский, разрез 5/6	СС	15 870 (3790)	50,0	0,44 (1,85)	2,58 (10,79)	18,78	0,976	1,145	3850 (920)	3770 (900)	0,899	0,263 (1,10)	0,098	1,34
Экибастузский, Куучекинский	СС	16 370 (3910)	27,0	0,43 (1,79)	2,50 (10,47)	19,00	0,979	1,129	3890 (930)	3810 (910)	0,935	0,260 (1,09)	0,093	1,31
Подмосковный, рядовой	Б2	10 420 (2490)	50,0	3,07 (12,85)	2,42 (10,12)	19,10	0,979	1,122	3600 (860)	3520 (840)	0,807	0,263 (1,10)	0,307	1,28
Печорский, Воркутское, отсев	Ж	23 650 (5650)	33,0	0,23 (0,97)	1,0 (4,18)	18,70	0,974	1,153	3980 (950)	3850 (920)	0,910	0,258 (1,08)	0,076	1,31
Печорский, Интинское, отсев	Д	18 290 (4370)	40,0	0,60 (2,52)	1,39 (5,81)	19,04	0,979	1,126	3930 (940)	3770 (900)	0,843	0,258 (1,08)	0,179	1,33
УССР, Львовско-Волынское, рядовой	Г	21 980 (5250)	39,0	0,45 (1,90)	0,90 (3,77)	18,75	0,974	1,159	3980 (950)	3830 (915)	0,899	0,256 (1,07)	0,096	1,31
Башкирский, Бабаевское	Б1	87 490 (2090)	65,0	6,46 (27,03)	0,80 (3,35)	18,68	0,970	1,159	3390 (810)	3290 (785)	0,718	0,260 (1,09)	0,570	1,21
РСФСР, Кизеловское, ППМ	Г	15 950 (3810)	44,0	0,41 (1,71)	2,46 (10,31)	18,58	0,971	1,163	3890 (930)	3770 (900)	0,897	0,263 (1,10)	0,094	1,31
РСФСР, Челябинское, рядовой	Б3	13 940 (3330)	45,0	1,29 (5,40)	2,12 (8,86)	19,12	0,979	1,122	3810 (910)	3730 (890)	0,859	0,260 (1,09)	0,177	1,33
РСФСР, Егоршинское, рядовой	ПА	22 400 (5350)	9,0	0,36 (1,50)	1,07 (4,47)	19,48	0,983	1,090	3890 (930)	3810 (910)	0,925	0,260 (1,09)	0,072	1,35
Грузинская ССР, Ткварчельское, ППМ	Ж	16 740 (4000)	41,0	0,69 (2,87)	2,09 (8,75)	18,39	0,972	1,176	3850 (920)	3730 (890)	8,834	0,263 (1,10)	0,117	1,33
Узбекская ССР, Ангренское, рядовой	Б2	13 810 (3300)	33,5	2,50 (10,45)	0,95 (3,97)	19,95	0,987	1,057	3680 (880)	3640 (870)	0,811	0,258 (1,08)	0,247	1,31
Канско-Ачинский, Ирша-Бородинское	Б2	15 660 (3740)	48,0	2,11 (8,82)	0,38 (1,61)	19,66	0,983	1,086	3770 (900)	3680 (880)	0,837	0,258 (1,08)	0,236	1,30

Бассейн, месторождение, класс	Марка угля	$Q_н^р$, кДж/кг (ккал/кг)	$V^г$, %	$W^н$, $(10^3$ кг · %)/кДж [$(10^3$ кг · %)/ккал]	$A^н$, $(10^3$ кг · %)/кДж [$(10^3$ кг · %)/ккал]	RO_{max}, %	γ	n	p, кДж/м³ (ккал/м³)	$Q_в$, кДж/м³ (ккал/м³)	$B_{в.г}$	a, м³/кДж (м³/ккал)	ψ	$\rho_{г.о}$, кг/м³
Канско-Ачинский, Назаровское	Б2	13 020 (3110)	48,0	2,99 (12,50)	0,56 (2,34)	19,66	0,983	1,086	3680 (880)	3600 (860)	0,811	0,258 (1,08)	0,303	1,28
Канско-Ачинский, Березовское	Б2	15 660 (3740)	48,0	2,11 (8,83)	0,30 (1,25)	19,76	0,986	1,078	3770 (900)	3680 (880)	0,838	0,258 (1,08)	0,239	1,30
Кемеровская область, Итатское	Б1	12 810 (3060)	48,0	3,16 (13,23)	0,53 (2,22)	19,83	0,986	1,071	3680 (880)	3660 (860)	0,801	0,256 (1,07)	0,324	1,28
Кемеровская область, Барандатское	Б2	14 820 (3540)	48,0	2,50 (10,45)	0,24 (1,24)	19,55	0,983	1,093	3725 (890)	3640 (870)	0,821	0,258 (1,08)	0,268	1,29
Иркутская область, Черемховское	Д	17 880 (4270)	47,0	0,73 (3,04)	1,51 (6,32)	18,70	0,975	1,152	3890 (930)	3770 (900)	0,883	0,258 (1,08)	0,124	1,33
Иркутская область, Азейское	Б3	17 330 (4140)	46,0	1,44 (6,04)	0,74 (3,08)	19,15	0,978	1,121	3850 (920)	3770 (900)	0,855	0,256 (1,07)	0,185	1,32
Бурятская АССР, Гусиноозерское	Б3	16 370 (3910)	45,0	1,44 (6,01)	1,03 (4,30)	19,11	0,977	1,125	3810 (910)	3730 (890)	0,856	0,258 (1,08)	0,182	1,32
Читинская область, Харанорское	Б1	12 480 (2980)	44,0	3,25 (13,60)	0,69 (2,88)	19,83	0,986	1,074	3600 (860)	3560 (850)	0,809	0,260 (1,09)	0,318	1,29
Хабаровский край, Райчихинское	Б1	9500 (2270)	50,0	4,95 (20,70)	0,83 (3,48)	20,11	0,991	1,051	3430 (810)	3390 (800)	0,821	0,263 (1,10)	0,358	1,26
Приморский край, Липовецкое	Д	18 250 (4360)	50,0	0,33 (1,38)	1,85 (7,76)	18,65	0,970	1,160	3980 (950)	3850 (920)	0,892	0,258 (1,08)	0,096	1,34
Приморский край, Сучанское	Г	19 470 (4650)	36,0	0,28 (1,19)	1,75 (7,31)	18,79	0,974	1,147	3930 (940)	3810 (910)	0,906	0,260 (1,09)	0,083	1,31
Приморский край, Подгородненское	Т	18 380 (4390)	16,0	0,22 (0,91)	2,19 (9,18)	19,00	0,975	1,133	3810 (910)	3730 (890)	0,919	0,265 (1,11)	0,067	1,36
Приморский край, Артемовское	Б3	13 310 (3180)	50,0	1,85 (7,75)	1,83 (7,64)	19,25	0,980	1,113	3810 (910)	3730 (890)	0,835	0,256 (1,07)	0,228	1,31
Приморский край, Реттиховское	Б1	10 050 (2400)	59,0	4,23 (17,71)	1,72 (7,21)	19,21	0,978	1,110	3600 (880)	3700 (885)	0,761	0,256 (1,07)	0,422	1,26
Приморский край, Чихезское	Б1	10 720 (2560)	58,0	4,01 (16,80)	1,17 (4,88)	19,39	0,983	1,101	3560 (860)	3470 (850)	0,774	0,260 (1,09)	0,398	1,26
Приморский край, Бикинское	Б2	9040 (2160)	56,0	4,09 (17,12)	2,44 (10,23)	19,30	0,981	1,109	3520 (840)	3430 (820)	0,773	0,263 (1,10)	0,399	1,26
Якутская АССР, Нерюнгринское	СС	24 680 (5895)	24,0	0,38 (1,61)	0,52 (2,16)	19,28	0,980	1,111	3980 (940)	3790 (905)	0,915	0,258 (1,08)	0,081	1,34
Магаданская область, Верхне-Аркагалинское	Д	18 500 (4420)	43,0	1,03 (4,30)	0,70 (2,94)	19,50	0,983	1,095	3930 (930)	3770 (900)	0,875	0,256 (1,07)	0,152	1,32
Южный Сахалин, рядовой	Д	20 600 (4920)	47,0	0,56 (2,34)	1,07 (4,49)	18,53	0,972	1,161	3970 (950)	3870 (925)	0,884	0,256 (1,07)	0,114	1,34
Эстонская ССР, разрез 1	Сланец	9340 (2230)	90,0	1,34 (5,60)	4,40 (18,40)	19,59	0,984	1,089	3770 (900)	3680 (880)	0,833	0,263 (1,10)	0,221	1,32
Ленинградская область	»	9340 (2230)	90,0	1,23 (5,15)	4,74 (19,80)	19,51	0,980	1,098	3810 (910)	3730 (890)	0,837	0,260 (1,09)	0,207	1,32

Продолжение табл. 1

Бассейн, месторождение, класс	Марка угля	$Q_н^р$, кДж/кг (ккал/кг)	$V^г$, %	$W^н$, $(10^3$ кг · %)/кДж [$(10^3$ кг · %)/ккал]	$A^н$, $(10^3$ кг · %)/кДж [$(10^3$ кг · %)/ккал]	RO_{2max}, %	γ	n	p, кДж/м³ (ккал/м³)	$Q_в$, кДж/м³ (ккал/м³)	$B_{в.г}$	a, м³/кДж (м³/ккал)	ψ	$\rho_{г.о}$, кг/м³
Куйбышевская область, Каширское	Сланец	5820 (1390)	[illegible]	3,01 (12,60)	8,52 (35,70)	20,21	0,988	1,059	3600 (860)	3520 (840)	0,787	0,263 (1,10)	0,350	1,28
Торф, фрезерный	—	8120 (1940)	70,0	6,16 (25,80)	0,78 (3,25)	19,57	0,987	1,087	3480 (830)	3400 (810)	0,712	0,254 (1,06)	0,601	1,23
Дрова	—	10 220 (2440)	85,0	3,92 (16,40)	0,06 (0,25)	20,36	0,993	1,025	3680 (880)	3640 (870)	0,747	0,251 (1,05)	0,464	1,28
Мазут, сернистый	—	39 730 (9490)	—	0,08 (0,32)	0	15,99	0,940	1,397	4060 (970)	3810 (910)	0,870	0,263 (1,10)	0,082	1,30
Мазут, высокосернистый	—	38 760 (9260)	—	0,08 (0,32)	0	16,30	0,944	1,355	4060 (970)	3810 (910)	0,876	0,263 (1,10)	0,080	1,30
Нефть, стабилизированная	—	39 770 (9500)	—	0,08 (0,32)	0	15,77	0,938	1,420	4060 (970)	3810 (910)	0,866	0,263 (1,10)	0,085	1,29
Ставрополь — Москва, природный газ	—	37 000 (8840)*	—	0	0	11,90	0,901	1,944	4190 (1000)	3770 (900)	0,803	0,265 (1,11)	0,122	1,24
Ярино — Пермь, попутный газ	—	46 880 (11 200)*	—	0	0	12,89	0,924	1,762	4150 (990)	3810 (910)	0,822	0,263 (1,10)	0,124	1,25
Доменный газ	—	3980 (950)*	—	0	0	23,00	2,010	0,400	2550 (610)	5110 (1220)	0,960	0,196 (0,82)	1,090	1,42
Коксовый газ	—	17 580 (4200)*	—	0	0	10,10	0,890	2,300	4600 (1100)	4100 (980)	0,760	0,244 (1,02)	0,170	1,20

* Величина приведенная в скобках, выражена в ккал/м³.

2.7. Обобщенный параметр — теплота сгорания топлива на 1 м³ сухих дымовых газов при $\alpha=1$

$$p=\frac{Q_в}{\gamma}.$$

2.8. Обобщенный параметр — теплота сгорания топлива на 1 м³ влажных дымовых газов при $\alpha=1$

$$R=pB_{в.г}.$$

2.9. Коэффициент, используемый для расчета потери тепла с уходящими газами,

$$\psi=\frac{\gamma}{B_{в.г}}(1+0{,}025W^п)-1.$$

Величины обобщенных и приведенных характеристик топлив СССР, а также других параметров и коэффициентов даны в табл. 1.

3. РАСЧЕТ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1. Коэффициент избытка воздуха (на сгоревшее топливо)

3.1.1. Коэффициент избытка воздуха при сжигании топлива стабильного состава ($N^р<3\%$) при $q_3=0$ рассчитывается по формуле («кислородной»)

$$\alpha^с=\frac{21-(1-\gamma)O_2}{21-O_2},$$

а при $q_3\neq0$ — по формуле («азотной»)

$$\alpha^с=\frac{N_2}{N_2-3{,}76(O_2-0{,}5H_2-0{,}5CO-2CH_4)},$$

где $N_2=100-(RO_2+O_2+H_2+CO+CH_4)$.

3.1.2. Для топлив нестабильного состава (или при $N^р>3\%$) коэффициент избытка воздуха целесообразно рассчитывать по формуле

$$\alpha^с=1+\frac{O_2-0{,}5H_2-0{,}5CO-2CH_4}{n(RO_2+CO+CH_4)}.$$

3.2. Коэффициент разбавления сухих дымовых газов

3.2.1. Коэффициент разбавления сухих дымовых газов равен отношению объема сухих продуктов сгорания к теоретическому объему сухих дымовых газов при $\alpha=1$.

3.2.2. Коэффициент разбавления при известном значении RO_{2max} определяется по формуле

$$h=\frac{RO_{2max}}{RO_2+CO+CH_4}.$$

3.2.3. Если значение RO_{2max} неизвестно, коэффициент разбавления определяется по уравнению

$$h=\frac{21}{21-(O_2-0{,}2H_2-0{,}4CO-1{,}6CH_4)},$$

а формула п. 3.2.2 используется для расчета RO_{2max}.

3.2.4. В случае полного сгорания топлива формулы соответственно упрощаются

$$h=\frac{RO_{2max}}{RO_2}\quad или\quad h=\frac{21}{21-O_2}.$$

3.2.5. Коэффициенты h и $\alpha^с$ связаны между собой соотношением:

при $q_3=0$

$$\alpha^с-1=\gamma(h-1);$$

при $q_3\neq0$

$$\alpha^с-1=\gamma(Yh-1).$$

где $Y=(100-1{,}5H_2-0{,}5CO-2CH_4)0{,}01$.

3.2.6. Коэффициенты избытка воздуха на сгоревшее ($\alpha^с$) и поданное (α) топливо связаны соотношением

$$\alpha=\alpha^с(1-0{,}01q_4).$$

3.3. Объемы воздуха и дымовых газов

3.3.1. Теоретический объем воздуха при $\alpha=1$

$$V^0=\frac{Q^р_н}{Q_в}.$$

3.3.2. Объем воздуха при $\alpha\neq1$

$$V_в=\alpha V^0.$$

3.3.3. Теоретический объем сухих дымовых газов при $\alpha=1$

$$V^0_{с.г}=\gamma V^0.$$

3.3.4. Объем сухих дымовых газов при $\alpha\neq 1$

$$V_{с.г}=hV^0_{с.г}.$$

3.3.5. Теоретический объем влажных дымовых газов при $\alpha=1$

$$V^0_{в.г}=\frac{V^0_{с.г}}{B_{в.г}}.$$

3.3.6. Объем влажных дымовых газов при $\alpha\neq 1$

$$V_{в.г}=V^0_{с.г}\left(h+\frac{1}{B_{в.г}}-1\right).$$

3.3.7. Объем компонентов дымовых газов:

$$V_{RO_2}=hV^0_{с.г}\frac{RO_2}{100};\quad V_{O_2}=hV^0_{с.г}\frac{O_2}{100};\quad V_{N_2}=hV^0_{с.г}\frac{N_2}{100};$$

$$V_{CO}=hV^0_{с.г}\frac{CO}{100};\quad V_{H_2}=hV^0_{с.г}\frac{H_2}{100};\quad V_{CH_4}=hV^0_{с.г}\frac{CH_4}{100};$$

$$V_{H_2O}=V_{в.г}-V_{с.г}=\left(\frac{1}{B_{в.г}}-1\right)V^0_{с.г}.$$

3.4. **Потери тепла**

3.4.1. Потеря тепла с химическим недожогом

$$q_3=\frac{h}{\rho}\,(25{,}8H_2+30{,}2CO+85{,}5CH_4)\,(100-q_4).$$

3.4.2. Потеря тепла с механическим недожогом определяется в соответствии с ОСТ 108.030.132—80 по анализу проб уноса и шлака. При исследованиях в зоне воспламенения, где $q_4>10\%$, целесообразно представлять механический недожог твердого или жидкого топлива в следующем виде:

$$q_4=100b+q^*_4(1-b),$$

где b — доля невоспламенившегося топлива;

q^*_4 — потеря тепла с недогоревшим топливом, %.

3.4.2.1. Потеря тепла с недогоревшим топливом

$$q^*_4=100\gamma\frac{RO_{2max}-RO^*_{2max}}{21-RO^*_{2max}},$$

где RO^*_{2max} — значение, определяемое по составу дымовых газов в зоне воспламенения.

3.4.2.2. Доля невоспламенившегося топлива при известных значениях q_4 и q^*_4

$$b=\frac{q_4-q^*_4}{100-q^*_4}.$$

3.4.3. Потеря тепла с уходящими газами

$$q_2=0{,}035\left[\left(\alpha^c_{ух}+\psi\right)1{,}04\vartheta_{ух}-\alpha^c_{ух}t_{хв}\right](1-0{,}01q_4),$$

где $t_{хв}$ — температура наружного воздуха (при отсутствии данных о ней принимается равной 30°С), °С;

$\vartheta_{ух}$ — температура газов за котлом, °С;

$\alpha^c_{ух}$ — коэффициент избытка воздуха за котлом;

ψ — коэффициент (см. табл. 1 и п. 2.9).

3.5. **Средние значения α, q_3, q_4**

3.5.1. При наличии данных о значениях скорости w_i, плотности ρ_i газового потока, коэффициента избытка воздуха α_i, химического q_{3i} и механического q_{4i} недожогов в элементарных площадках ΔF_i топочного сечения определяются средние по сечению коэффициент избытка воздуха, химический и механический недожоги.

3.5.2. Средний коэффициент избытка воздуха

$$\alpha=\frac{\sum\limits_i w_i\rho_i\Delta F_i}{\sum\limits_i\frac{w_i\rho_i\Delta F_i}{\alpha_i}}.$$

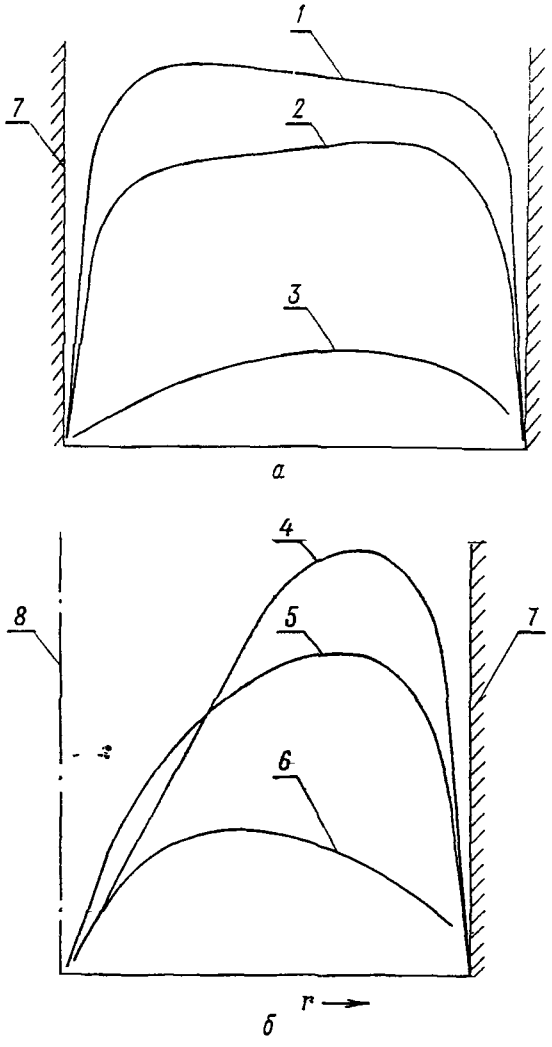
3.5.3. Средний по сечению химический недожог

$$q_3 = \frac{\sum\limits_i \frac{w_i \rho_i q_{3i} \Delta F_i}{\alpha_i}}{\sum\limits_i \frac{w_i \rho_i \Delta F_i}{\alpha_i}}.$$

3.5.4. Средний по сечению механический недожог

$$q_4 = \frac{\sum\limits_i \frac{w_i \rho_i q_{4i} \Delta F_i}{\alpha_i}}{\sum\limits_i \frac{w_i \rho_i \Delta F_i}{\alpha_i}}.$$

Графический расчет средних значений α и q_3 для прямоугольного (*а*) и круглого (*б*) сечений



1 — $w_i \rho_i$; *2* — $\frac{w_i \rho_i}{\alpha_i}$; *3* — $\frac{w_i \rho_i q_{3i}}{\alpha_i}$; *4* — $w_i \rho_i r_i$; *5* — $\frac{w_i \rho_i r_i}{\alpha_i}$; *6* — $\frac{w_i \rho_i q_{3i} r_i}{\alpha_i}$; *7* — стенка; *8* — ось

Черт. 1

3.5.5. Примеры расчетов при помощи графического интегрирования для прямоугольного и круглого сечений приведены на черт. 1. Деление площадей, расположенных между кривыми *1*, *2* и осью абсцисс, дает среднее значение α, а деление площадей, расположенных между кривыми *3*, *2* и осью абсцисс, — среднее значение q_3 (или q_4). Аналогично для круглого сечения деление площадей, расположенных под кривыми *4*, *5*, дает среднее значение α, а деление площадей, расположенных под кривыми *6*, *5*, — среднее значение q_3 (или q_4).

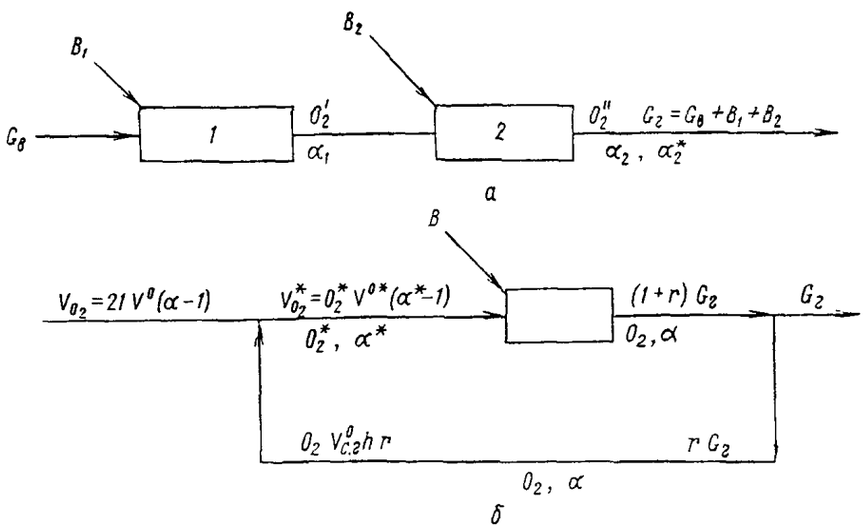
4. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВ

4.1. Соотношение расходов топлива при ступенчатом (последовательном) его сжигании определяется по формуле

$$A = \frac{B_1}{B_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2},$$

где индексы 1 и 2 относятся к первому и второму вводу топлива в топочную камеру (черт. 2, *а*).

Схемы сжигания топлив



а — ступенчатое сжигание; *б* — сжигание с рециркуляцией газов

Черт. 2

4.1.1. При вводе в топочную камеру разных топлив

$$A = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 L_1^0 / L_2^0 - \alpha_2},$$

где L_1^0 и L_2^0 — соответствующие стехиометрические количества воздуха для топлив 1 и 2.

4.1.2. Стехиометрическое количество воздуха, загрязненного продуктами сгорания первой топочной камеры,

$$L^* = \frac{\alpha_1 L^0 + 1}{\alpha_1 - 1}.$$

4.2. Коэффициент избытка воздуха, загрязненного продуктами сгорания первой топочной камеры, отнесенный к B_2,

$$\alpha_2^* = \frac{1 - 1/\alpha_1}{1/\alpha_2 - 1/\alpha_1} \quad \text{или} \quad \alpha_2^* = A(\alpha_1 - 1),$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты избытка воздуха, отнесенные к расходам топлива B_1 и $(B_1 + B_2)$ соответственно.

4.3. Химический недожог за второй топочной камерой, отнесенный к расходу топлива в ней (B_2),

$$q_{3.2}^* = \frac{q_{3.2}(A+1) - x_б q_{3.1} A}{1 + (1 - x_б) q_{3.1} A},$$

где $q_{3.1}$ — химический недожог за первой камерой, %;

$q_{3.2}$ — химический недожог за двумя камерами, отнесенный к общему расходу топлива $(B_1 + B_2)$, %;

$x_б$ — доля дымовых газов первой топочной камеры, не участвующих в процессе горения во второй (доля байпаса).

4.4. Механический недожог при ступенчатом сжигании рассчитывается аналогичным образом.

4.5. В случае сжигания топлив в топочном устройстве с рециркуляцией газов (см. черт. 2, *б*) уравнение баланса избыточного кислорода имеет вид

$$O_2 V_{с.г}^0 hr + 21 V^0 (\alpha - 1) = O_2^* V^{0*} (\alpha^* - 1),$$

где O_2^*, V^{0*} и α^* — параметры, относящиеся к смеси воздуха и дымовых газов.

4.5.1. После использования подстановок

$$O_2^* V^{0*} = 21 V^0, \quad \frac{O_2}{21} = \frac{h-1}{h}, \quad \gamma = \frac{\alpha - 1}{h - 1}$$

и деления на $21V^0$ формулы для расчета доли рециркулирующих газов имеют вид

$$r = \frac{\alpha^* - \alpha}{\alpha - 1} \quad \text{или} \quad r = \frac{21 - O_2^*}{O_2^* - O_2}.$$

4.5.2. Коэффициент избытка загрязненного дымовыми газами воздуха рассчитывается по формуле

$$\alpha^* = \alpha + r(\alpha - 1).$$

5. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВ

5.1. Эквивалентный расход топлива при сжигании смеси топлив (по данным испытаний)

$$B_{экв} = \frac{D(i - i_0)(100 - q_4)}{(Q_н^р)' \eta_{бр}},$$

где D — паропроизводительность котла, кг/с (т/ч);

i — теплосодержание перегретого пара, кДж/кг (ккал/кг);

i_0 — теплосодержание питательной воды, кДж/кг (ккал/кг);

$(Q_н^р)'$ — теплота сгорания топлива, принятого за базовое, кДж/кг (ккал/кг).

5.2. Доля базового топлива по теплу в балансовом сечении топки (котла) равна

$$q' = \frac{B'}{B_{экв}}.$$

Расход второго топлива с теплотой сгорания $(Q_н^р)''$.

$$B'' = q'' B_{экв} \frac{(Q_н^р)'}{(Q_н^р)''},$$

где $q'' = 1 - q'$.

5.3. Тепловая доля одного из топлив в смеси рассчитывается по уравнению

$$q'' = \frac{RO'_{2max} - RO_{2max}}{M + N RO_{2max}},$$

где $M = RO'_{2max} - \frac{p'}{p''} RO''_{2max}$, %; $N = \frac{p'}{p''} - 1$; величина RO_{2max} определяется по составу дымовых газов.

Значения коэффициентов M и N для наиболее распространенных смесей двух топлив приведены в табл. 2. На черт. 3 представлена номограмма для расчета тепловой доли одного из топлив в смеси.

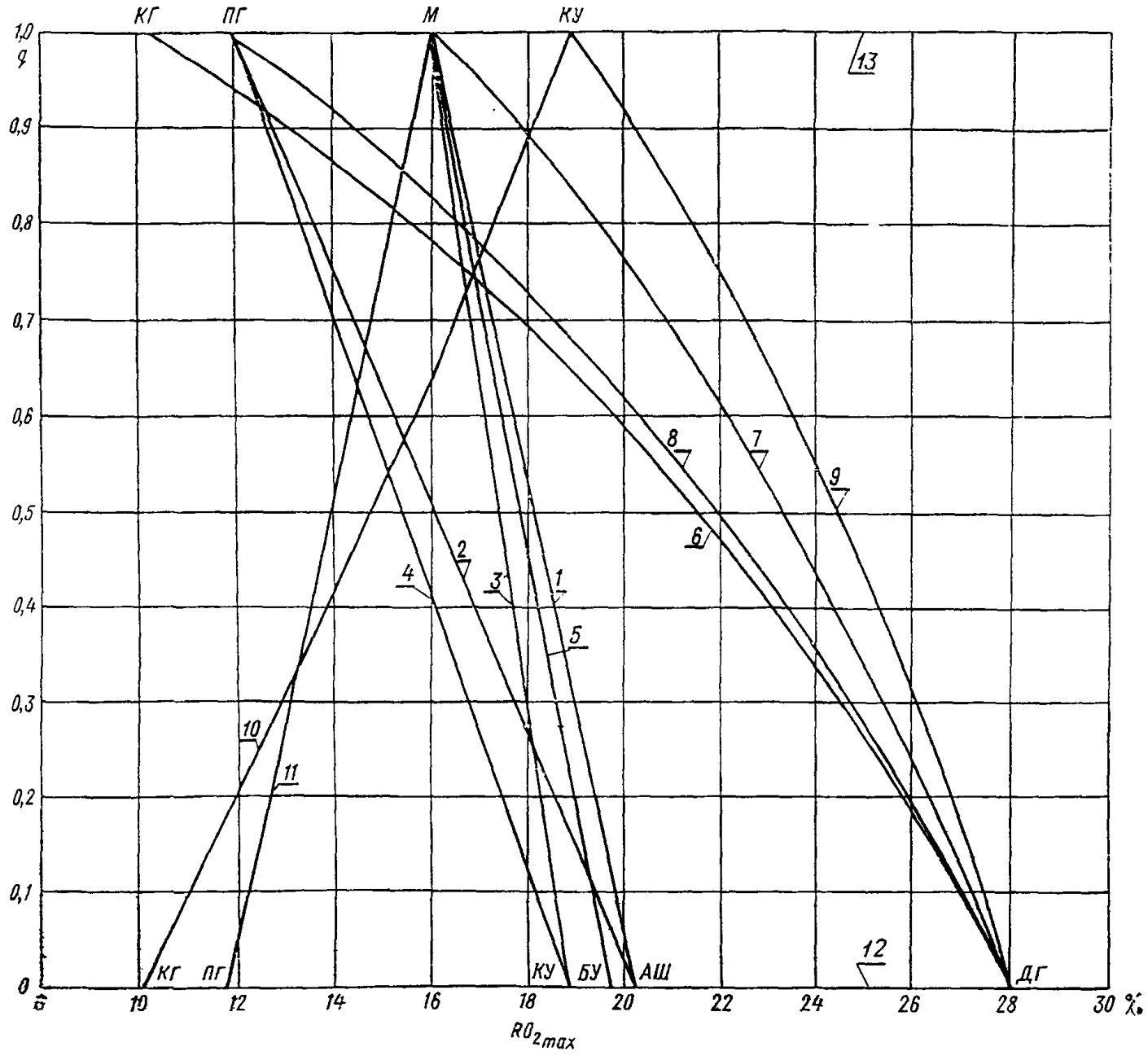
Таблица 2

Коэффициенты для расчетов при сжигании смесей двух топлив

Номер смеси	Первое топливо	Второе топливо	RO'_{2max}, %	RO''_{2max}, %	γ'	γ''	p' кДж/м³ (ккал/м³)	p'' кДж/м³ (ккал/м³)	P, %	φ	M, %	N
1	АШ	М	20,1	16,0	0,99	0,94	3770 (900)	4060 (970)	100	1,0	5,25	—0,072
2	АШ	ПГ	20,1	11,8	0,99	0,90	3770 (900)	4190 (1000)	100	1,0	9,48	—0,100
3	КУ	М	18,8	16,0	0,98	0,94	3850 (920)	4060 (970)	100	1,0	3,62	—0,052
4	КУ	ПГ	18,8	11,8	0,98	0,90	3850 (920)	4190 (1000)	100	1,0	7,94	—0,080
5	БУ	М	19,7	16,0	0,98	0,94	3680 (880)	4060 (970)	100	1,0	5,18	—0,094
6	ДГ	КГ	28,0	10,1	2,01	0,89	2550 (610)	4600 (1100)	42	0,66	22,40	—0,446
7	ДГ	М	28,0	16,0	2,01	0,94	2550 (610)	4060 (970)	39	0,80	17,94	—0,371
8	ДГ	ПГ	28,0	11,8	2,01	0,90	2550 (610)	4190 (1000)	41	0,71	20,80	—0,390
9	ДГ	КУ	28,0	18,8	2,01	0,98	2550 (610)	3850 (920)	37	0,90	15,53	—0,337
10	КГ	КУ	10,1	18,8	0,89	0,98	4600 (1100)	3850 (920)	100	1,0	—12,33	0,196
11	ПГ	М	11,8	16,0	0,90	0,94	4190 (1000)	4060 (970)	100	1,0	—4,69	0,031

Примечание. АШ — антрацитовый штыб; КУ — каменный уголь; БУ — бурый уголь; ПГ — природный газ; М — мазут; КГ — коксовый газ; ДГ — доменный газ.

График зависимости доли топлива в смеси двух топлив (по теплу) q от RO_{2max}



1 — АШ и М; *2* — АШ и ПГ; *3* — КУ и М; *4* — КУ и ПГ; *5* — БУ и М; *6* — ДГ и КГ; *7* — ДГ и М; *8* — ДГ и ПГ; *9* — ДГ и КУ; *10* — КГ и КУ; *11* — ПГ и М; *12* — ось абсцисс первого топлива; *13* — ось абсцисс второго топлива

Черт. 3

5.4. Переход от тепловой доли топлива к массовой производится по уравнению

$$g' = \frac{1}{1 + \dfrac{(1 - q')(Q_н^р)'}{q'(Q_н^р)''}}.$$

5.5. При расчетах в случае сжигания смеси трех топлив необходимо сначала определить объемное (или массовое), а затем и тепловое соотношение двух топлив, для которых их расходы и теплота сгорания известны или могут быть получены прямыми измерениями. Например, в случае сжигания смеси двух известных газов и твердого (или жидкого) топлива сначала по тепловому соотношению газов осуществляется расчет RO_{2max} для нового топлива, состоящего из смеси двух газов, по уравнению

$$RO_{2max} = \frac{q' RO'_{2max} + q'' \dfrac{p'}{p''} RO''_{2max}}{q' + \dfrac{p'}{p''} q''}.$$

Доля третьего топлива в смеси определяется по п. 5.3, где RO'_{2max} и p' соответствуют новому газовому топливу, а RO''_{2max} и p'' — твердому (или жидкому) топливу.

5.6. Расчет коэффициента избытка воздуха при сжигании смеси двух топлив осуществляется по формуле

$$\alpha = \frac{P - RO_2 - \varphi O_2}{P - RO_2 - (P/21)O_2},$$

где P и φ — характеристики топливной смеси. Здесь под обозначением RO_2 понимается сумма $RO_2 + CO + CH_4$, а под обозначением O_2 — величина $O_2 - 0{,}5H_2 - 0{,}5CO - 2CH_4$.

5.7. Характеристики P и φ для смеси топлив определяются по уравнениям (индексы вверху относятся к двум топливам):

$$P = \frac{\gamma' RO'_{2max} - \gamma'' RO''_{2max}}{\gamma' - \gamma''};$$

$$\varphi = \frac{P - \gamma' (P - RO_{2max})}{21}.$$

5.8. Обобщенные характеристики γ' и γ'' каждого из двух топлив смеси связаны зависимостью

$$\gamma' = \gamma'' \frac{P - RO''_{2max}}{P - RO'_{2max}}.$$

6. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

6.1. Определение локальных массовых потоков дымовых газов, сгоревшего и несгоревшего топлива

6.1.1. Объемный расход дымовых газов, проходящих через выделенную элементарную площадку факела,

$$g_{ri} = w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i - 273},$$

где w_{xi} — величина осевой скорости в i-й элементарной площадке, м/с;

ΔF_i — площадь выделенной i-й элементарной площадки, м²;

t_i — температура в i-й элементарной площадке, К (°С).

6.1.2. Локальный массовый поток газифицированного и сгоревшего топлива, проходящий через i-ю элементарную площадку ΔF_i,

$$g^{гор}_{C_i} = \frac{1}{\Delta F_i} g_{ri} \left[\frac{12}{44} \rho_{(CO_2)_i} (CO_2)_i + \frac{12}{28} \rho_{(CO)_i} (CO)_i \right],$$

где $(CO_2)_i$ и $(CO)_i$ — средние объемные содержания углекислого газа и окиси углерода в газовом потоке, проходящем через i-ю элементарную площадку, м³/м³.

6.1.3. Локальный массовый поток остаточного кислорода в каждом выделенном сечении рассчитывается по формуле

$$g_{(O_2)_i} = \frac{1}{\Delta F_i} g_{ri} \rho_{(O_2)_i} (O_2)_i,$$

где $(O_2)_i$ — содержание остаточного кислорода в газовом потоке, проходящем через i-ю площадку, м³/м³.

6.1.4. Локальный массовый поток окислов азота через площадку ΔF_i

$$g_{(NO_x)_i} = \frac{1}{\Delta F_i} g_{ri} \left[\rho_{(NO)_i} (NO)_i + \rho_{(NO_2)_i} (NO_2)_i \right],$$

где $(NO_x)_i$ — содержание окислов азота в газовом потоке, проходящем через i-ю площадку, м³/м³.

6.1.5. Локальный массовый поток несгоревшего углерода

$$g_{C_i} = \frac{1}{\Delta F_i} g_{ri} \mu_i \Gamma^C_i,$$

где μ_i — концентрация пыли в выделенном элементе, кг/м³;

Γ^C — содержание горючих в угольной пыли, кг/кг.

Содержание $(O_2)_i$, $(CO_2)_i$, $(CO)_i$ и других составляющих газов, а также w_{xi}, t_i, μ_i и Γ^C определяются при исследовании факела.

6.1.6. Локальный коэффициент избытка воздуха

$$\alpha_i = \frac{g_{ri}}{8{,}89 \left(g_{C_i} + g^{гор}_{C_i} \right)} = \frac{1}{8{,}89 \left[\mu_i \Gamma^C_i + \frac{12}{44} \rho_{(CO_2)_i} (CO_2)_i + \frac{12}{28} \rho_{(CO)_i} (CO)_i \right]}.$$

6.2. Суммарные расходы газов, сгоревшего и несгоревшего топлива через сечение

6.2.1. Суммарный объемный расход дымовых газов через сечение

$$G_r = \left(\sum_1^{n-k} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i - 273} - \sum_1^{k} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273} \right).$$

6.2.1.1. Суммарный объемный расход дымовых газов в зонах рециркуляции

$$G_{\text{рец}} = \sum_{1}^{k} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273}.$$

6.2.1.2. Объемный расход дымовых газов в приосевой зоне рециркуляции

$$G_{\text{рец}}^{\text{приос}} = \sum_{1}^{n} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273}.$$

6.2.1.3. Объемный расход дымовых газов в пристенной зоне рециркуляции

$$G_{\text{рец}}^{\text{прист}} = \sum_{1}^{m} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273}.$$

6.2.1.4. Объемный расход дымовых газов в межгорелочной зоне рециркуляции

$$G_{\text{рец}}^{\text{межгор}} = \sum_{1}^{k-m-\rho} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273},$$

где n — суммарное количество площадок, выделенных в соответствующем сечении факела;

k — то же, в зонах рециркуляции;

ρ — то же, в приосевой зоне;

m — то же, в пристенной зоне.

6.2.2. Общий массовый расход несгоревшего углерода через данное сечение факела

$$G_{\text{с}} = \sum_{1}^{n-k} \Delta F_i g_{C_i} - \sum_{1}^{k} \Delta F_i g_{C_i}.$$

6.2.3. Общий массовый расход сгоревшего углерода

$$G_{\text{С}}^{\text{сгор}} = \sum_{1}^{n-k} \Delta F_i g_{C_i}^{\text{сгор}} - \sum_{1}^{k} \Delta F_i g_{C_i}.$$

6.2.4. Средняя по сечению величина механического недожога

$$\bar{q}_4 = \frac{Q_{\text{С}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \frac{G_{\text{С}}}{B_{\text{г}}},$$

где $Q_{\text{С}}$ — теплота сгорания углерода, кДж/кг (ккал/кг);

$B_{\text{г}}$ — расход топлива на горелку, кг/с (кг/ч).

6.3. Средние по сечению значения концентраций газовых компонентов, температур и коэффициентов избытка воздуха

6.3.1. Средняя по сечению концентрация CO_2

$$\overline{CO_2} = \frac{\sum_{1}^{n-k} (CO_2)_i w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} (CO_2)_i w_{xi} \Delta F_i}{\sum_{1}^{n-k} w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} w_{xi} \Delta F_i}.$$

6.3.2. Средняя по сечению концентрация CO

$$\overline{CO} = \frac{\sum_{1}^{n-k} (CO)_i w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} (CO)_i w_{xi} \Delta F_i}{\sum_{1}^{n-k} w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} w_{xi} \Delta F_i}.$$

6.3.3. Средняя по сечению концентрация NO_x

$$\overline{NO_x} = \frac{\sum_{1}^{n-k} (NO_x)_i w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} (NO_x)_i w_{xi} \Delta F_i}{\sum_{1}^{n-k} w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} w_{xi} \Delta F_i}.$$

6.3.4. Средняя по сечению концентрация O_2

$$\overline{O}_2 = \frac{\sum_{1}^{n-k} (O_2)_i w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} (O_2)_i w_{xi} \Delta F_i}{\sum_{1}^{n-k} w_{xi} \Delta F_i - \sum_{1}^{k} w_{xi} \Delta F_i}.$$

6.3.5. Средняя по сечению температура

$$\overline{t} = \frac{\sum_{1}^{n-k} c_{pi} t_i w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273} - \sum_{1}^{k} c_{pi} t_i w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273}}{\sum_{1}^{n-k} c_{pi} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i + 273} - \sum_{1}^{k} c_{pi} w_{xi} \Delta F_i \frac{273}{t_i - 273}},$$

где c_{pi} — суммарная теплоемкость газов и пыли в элементарном сечении факела при температуре t_i, кДж/(кг·К) [ккал/(кг·°С)].

6.3.6. Средний по сечению коэффициент избытка воздуха

$$\overline{\alpha} = \frac{G_\Gamma}{8.89 \left(G_C - G_C^{\text{гор}} \right)}.$$

6.4. Пример расчета материального баланса в сечении факела приведен в справочном приложении 1 (пример 7).

6.5. Для обработки результатов на ЭВМ разработана ФОРТРАН-программа расчета. Текст программы, ее описание и пример расчета приведены в приложении 3.

7. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

7.1. Определение локальных величин

7.1.1. Количество выделившегося тепла, которое переносится в единицу времени через элементарную площадку ΔF_i,

$$q_{\text{выд}i} = Q_C g_{\Gamma i} \left[\frac{12}{44} \rho_{(CO_2)_i} + \frac{12}{28} \rho_{(CO)_i} (CO)_i \right].$$

7.1.2. Количество тепла, воспринятое газами и несгоревшим топливом, проходящими через элементарную площадку ΔF_i,

$$q_{\text{воспр}i} = g_{\Gamma i} t_i \left[c_{p(CO_2)_i} (CO_2)_i + c_{p(CO)_i} (CO)_i + c_{p(O_2)_i} (O_2)_i + c_{p(N_2)_i} (N_2)_i + c_{\text{п}i} \mu_i \right],$$

где $c_{\text{п}}$ — теплоемкость угольной пыли, отобранной из факела в i-й точке, кДж/(кг·К) [ккал/(кг·°С)].

7.1.3. Небаланс тепла в i-м элементе факела

$$q_i = q_{\text{выд}i} - q_{\text{воспр}i}.$$

В зависимости от характера температурного поля и количества выделившегося тепла к данному сечению величина q_i может быть положительной или отрицательной.

7.2. Определение суммарного тепловыделения и теплосодержания газов в различных сечениях факела

7.2.1. Суммарное количество выделившегося тепла, перенесенного через данное сечение факела,

$$Q_{\text{в}} = \sum_{1}^{n-k} q_{\text{выд}i} - \sum_{1}^{k} q_{\text{выд}i}.$$

7.2.2. Суммарные теплосодержания газов и несгоревшего топлива, проходящие через данное сечение,

$$Q_{\text{газ}} = \sum_{1}^{n-k} q_{\text{воспр}i} - \sum_{1}^{k} q_{\text{воспр}i}.$$

7.2.3. Небаланс тепла в рассматриваемом сечении факела дает величину результирующих количеств тепла (лучистого и конвективного), уходящих из сечения или входящих в него:

$$Q_{\text{рез}} = Q_{\text{в}} - Q_{\text{газ}}.$$

7.3. Пример расчета материального и теплового балансов в сечении факела приведен в справочном приложении 1 (пример 7), а пример расчета с использованием ЭВМ — в справочном приложении 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример 1.

Дано: топливо — природный газ; состав дымовых газов за котлом: $O_2=2,0\%$, $RO_2=10,3\%$, $CO=0,5\%$, $H_2=0,3\%$; температура уходящих газов $\vartheta_{ух}=120°C$.

Определить h, $\alpha^c_{ух}$, q_2, q_3.

Решение:

$$h=\frac{21}{21-(O_2-0,2H_2-0,4CO)}=\frac{21}{21-(2,0-0,2\cdot0,3-0,4\cdot0,5)}=1,09;$$

$$\alpha^c_{ух}=\frac{21-(1-\gamma)(O_2-0,5H_2-0,5CO)}{21-(O_2-0,5H_2-0,5CO)}=\frac{21-(1-0,9)(2,0-0,5\cdot0,3-0,5\cdot0,5)}{21-(2,0-0,5\cdot0,3-0,5\cdot0,5)}=1,08;$$

$$q_2=0,035\left[\left(\alpha^c_{ух}+\gamma\right)1,04\vartheta_{ух}-\alpha_{ух}t_в\right](1-0,01q_4)=0,035[(1,08+0,12)1,04\cdot120-1,08\cdot30]=4,11\%;$$

$$q_3=\frac{h}{p}(25,8H_2+30,2CO+85,5CH_4)(100-q_4)=\frac{1,09}{1000}(25,8\cdot0,3+30,2\cdot0,5)=2,49\%.$$

Пример 2.

Дано: топливо — АШ; состав газа и механический недожог в точке отбора (в зоне горения): $RO_2=16,2\%$, $O_2=3,0\%$, $CO=1,0\%$, $q_4=42,0\%$; состав газа и механический недожог за котлом: $RO^к_2=16,0\%$, $O^к_2=4,2\%$, $q^к_4=8\%$.

Определить значения h, q^*_4, b, q_3, α в точке отбора.

Решение:

$$RO^к_{2max}=\frac{21}{21-O^к_2}RO^к_2=\frac{21}{21-4,2}16,0=20,0\%;$$

$$RO_{2max}=\frac{q^к_4}{100\gamma}(21-RO^к_{2max})+RO^к_{2max}=\frac{8}{100\cdot0,99}(21-20,0)+20,0=20,1\%.$$

В точке отбора:

$$h=\frac{21}{21-(O_2-0,4CO)}=\frac{21}{21-(3,0-0,4\cdot1,0)}=1,14;$$

$$RO^*_{2max}=h(RO_2+CO)=1,14(16,2+1,0)=19,6\%;$$

$$q^*_4=100\gamma\frac{RO_{2max}-RO^*_{2max}}{21-RO^*_{2max}}=100\cdot0,99\frac{20,1-19,6}{21,0-19,6}=35,4\%;$$

$$b=\frac{q_4-q^*_4}{100-q^*_4}=\frac{42,0-35,4}{100-35,4}=0,10;$$

$$q_3=\frac{h}{p}30,2CO(100-q_4)=\frac{1,14}{900}30,2\cdot1,0(100-42)=2,2\%;$$

$$\alpha^c=\frac{21-(1-\gamma)(O_2-0,5CO)}{21-(O_2-0,5CO)}=\frac{21-(1-0,99)(3,0-0,5\cdot1,0)}{21-(3,0-0,5\cdot1,0)}=1,14;$$

$$\alpha=\alpha^c(1-0,01q_4)=1,14(1-0,01\cdot42,0)=0,66.$$

Пример 3.

Дано: парогазовая установка; топливо — природный газ; состав газов за камерой горения (за 1-й камерой): $O_2=16,0\%$, $RO_2=2,8\%$; состав газов за котлом (за 2-й камерой): $O_2=4,0\%$, $RO_2=9,6\%$.

Определить соотношение топлив A.

Решение:

$$h_1=\frac{21}{21-(O_2)_1}=\frac{21}{21-16,0}=4,2;$$

$$\alpha_1=\gamma h_1+(1-\gamma)=0,9\cdot4,2+(1-0,9)=3,88;$$

$$h_2 = \frac{21}{21-(O_2)_2} = \frac{21}{21-4,0} = 1,24;$$

$$\alpha_2 = \gamma h_2 + (1-\gamma) = 0,9 \cdot 1,24 + (1-0,9) = 1,22;$$

$$A = \frac{B_1}{B_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} = \frac{1,22}{3,88-1,22} = 0,46.$$

Пример 4.

Дано: котел с рециркуляцией дымовых газов; топливо — мазут; состав газов за котлом: $O_2=0,8\%$, $RO_2=15,4$; содержание кислорода в смеси газов и воздуха (перед горелками) $O_2^*=19,0\%$.

Определить r.

Решение:

$$r = \frac{21-O_2^*}{O_2^*-O_2} = \frac{21-19,0}{19,0-0,8} = 0,11.$$

Пример 5.

Дано: топливо — смесь природного газа и мазута; состав газов: $O_2=1,0\%$, $RO_2=14,0\%$.

Определить долю мазута по теплу и α^c.

Решение:

$$RO_{2max} = \frac{21\,RO_2}{21-O_2} = \frac{21 \cdot 14,0}{21-1,0} = 14,7\%;$$

$$q'' = \frac{RO'_{2max} - RO_{2max}}{M + N RO_{2max}} = \frac{11,8-14,7}{-4,69+0,031 \cdot 14,7} = 0,69;$$

$$\alpha^c = \frac{P - RO_2 - \varphi O_2}{P - RO_2 - (P/21) O_2} = \frac{100-14,0-1 \cdot 1,0}{100-14,0-(10)/21) \cdot 1,0} = 1,046.$$

Пример 6.

Дано: топливо — смесь доменного и коксового газов в отношении 3 : 1 (по теплу) и сернистого мазута; состав и температура дымовых газов за котлом: $RO_2=19,0\%$, $O_2=4,0\%$, $\vartheta_{ух}=140°C$.

Определить коэффициент избытка воздуха за котлом α^c, тепловые и массовые доли всех трех топлив в смеси и потерю тепла с уходящими газами q_2.

Решение.

Для смеси доменного (75%) и коксового (25%) газов из уравнения

$$q'' = \frac{RO_{2max} - (RO_{2max})_{газ}}{M - N\,(RO_{2max})_{газ}},$$

где $q''=0,25$, $RO'_{2max}=28,0\%$, $M=22,40\%$, $N=-0,446$, находим $(RO_{2max})_{газ}=25,2\%$.

Обобщенная характеристика смеси этих газов

$$\gamma_{газ} = \gamma' \frac{P_{газ} - RO'_{2max}}{P_{газ} - (RO_{2max})_{газ}} = 2,0 \frac{42-28}{42-25,2} = 1,67.$$

Параметр P для смеси трех топлив

$$P = \frac{\gamma_{газ}(RO_{2max})_{газ} - \gamma_{маз}(RO_{2max})_{маз}}{\gamma_{газ} - \gamma_{маз}} = \frac{1,67 \cdot 25,2 - 0,94 \cdot 16,0}{1,67-0,94} = 37,0\%.$$

Параметр φ для смеси трех топлив

$$\varphi = \frac{P - \gamma_{маз}[P - (RO_{2max})_{маз}]}{21} = \frac{37-0,94\,(37-16)}{21} = 0,82.$$

Величина RO_{2max} для смеси трех топлив

$$RO_{2max} = \frac{21\,RO_2}{21-O_2} = \frac{21 \cdot 19,0}{21-4,0} = 23,5\%.$$

Обобщенная характеристика этой смеси

$$\gamma = \gamma_{газ} \frac{P - (RO_{2max})_{газ}}{P - RO_{2max}} = 1,67 \frac{37-25,2}{37-23,5} = 1,46.$$

Обобщенная характеристика для расчета коэффициента избытка воздуха

$$n = \frac{21}{\gamma RO_{2max}} = \frac{21}{1,46 \cdot 23,5} = 0,613.$$

Коэффициент разбавления сухих дымовых газов

$$h = \frac{21}{21-O_2} = \frac{21}{21-4,0} = 1,23.$$

Коэффициент избытка воздуха (по трем формулам для их сравнения)

$$\alpha^{\text{с}} = \gamma(h-1)+1 = 1{,}46(1{,}23-1)+1 = 1{,}336;$$

$$\alpha^{\text{с}} = \frac{P - \text{RO}_2 - \varphi\,\text{O}_2}{P - \text{RO}_2 - (P/21)\text{O}_2} = \frac{37 - 19{,}0 - 0{,}82 \cdot 4{,}0}{37 - 19{,}0 - (37/21)\cdot 4{,}0} = 1{,}338;$$

$$\alpha^{\text{с}} = 1 + \frac{\text{O}_2}{n\text{RO}_2} = 1 + \frac{4{,}0}{0{,}613 \cdot 19{,}0} = 1{,}343.$$

Переход от тепловых к массовым долям доменного и коксового газов в их смеси выполняется по формуле

$$g_i = \frac{q_i / (Q_{\text{н}}^{\text{р}})_i}{\sum q_i / (Q_{\text{н}}^{\text{р}})_i}.$$

При теплоте сгорания доменного газа $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$=3310 кДж/кг (790 ккал/кг) и коксового газа $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$= =41 000 кДж/кг (9800 ккал/кг) их массовые доли соответственно равны 0,975 и 0,025.

Обобщенный параметр смеси этих газов определяется по уравнению

$$p_{\text{газ}} = \frac{10^3}{\gamma_{\text{газ}}\, a_{\text{газ}}},$$

где коэффициент $a_{\text{газ}}$ рассчитывается как средневзвешенная величина по формуле

$$a_{\text{газ}} = a_{\text{д.г}} g_{\text{д.г}} + a_{\text{к.г}} g_{\text{к.г}} = 0{,}196 \cdot 0{,}975 + 0{,}244 \cdot 0{,}025 = 0{,}197 \text{ м}^3/\text{кДж } (0{,}825 \text{ м}^3/\text{ккал}).$$

Тогда для смеси газов

$$p_{\text{газ}} = \frac{10^3}{1{,}67 \cdot 0{,}197} = 3040 \text{ кДж/м}^3 \ (726 \text{ ккал/м}^3).$$

Коэффициенты M и N для смеси газов и мазута равны:

$$M = (\text{RO}_{2\max})_{\text{газ}} - \frac{p_{\text{газ}}}{p_{\text{маз}}}(\text{RO}_{2\max})_{\text{маз}} = 25{,}2 - \frac{3040}{4060}\,16{,}0 = 13{,}2\%;$$

$$N = \frac{p_{\text{газ}}}{p_{\text{маз}}} - 1 = \frac{3040}{4060} - 1 = -0{,}25.$$

Доля мазута по теплу

$$q_{\text{маз}} = \frac{(\text{RO}_{2\max})_{\text{газ}} - \text{RO}_{2\max}}{M + N\text{RO}_{2\max}} = \frac{25{,}2 - 23{,}5}{13{,}2 - 0{,}25 \cdot 23{,}5} = 0{,}232.$$

Таким образом, смесь состоит по теплу из 57,6% доменного газа, 19,2% коксового газа и 23,2% мазута. При пересчете по вышеуказанной формуле массовые доли соответственно равны 0,945; 0,024; 0,031.

Обобщенную характеристику $B_{\text{в.г}}$ находим как средневзвешенную величину по массовым долям трех топлив в их смеси:

$$B_{\text{в.г}} = g_{\text{д.г}}(B_{\text{в.г}})_{\text{д.г}} + g_{\text{к.г}}(B_{\text{в.г}})_{\text{к.г}} + g_{\text{маз}}(B_{\text{в.г}})_{\text{маз}} = 0{,}945 \cdot 0{,}96 + 0{,}024 \cdot 0{,}76 + 0{,}031 \cdot 0{,}87 = 0{,}952.$$

Коэффициент для расчета потери тепла с уходящими газами

$$\psi = \frac{\gamma}{B_{\text{в.г}}}(1 + 0{,}025 W^{\text{п}}) - 1 = \frac{1{,}46}{0{,}952}(1 + 0{,}025 \cdot 0) - 1 = 0{,}534.$$

Потеря тепла с уходящими газами

$$q_2 = 0{,}035\,[(\alpha_{\text{ух}}^{\text{с}} + \psi)\,1{,}04\,\vartheta_{\text{ух}} - \alpha_{\text{ух}}^{\text{с}} t_{\text{в}}]\,(1 - 0{,}01\,q_4) =$$
$$= 0{,}035\,[(1{,}338 + 0{,}534)\,1{,}04 \cdot 140 - 1{,}338 \cdot 30]\,(1 - 0{,}01 \cdot 0) = 8{,}23\%.$$

Пример 7.

Дано: распределение скоростей, температур, состава газов, концентрации пыли и содержания горючих в сечении факела, отстоящем на расстоянии 200 мм от устья горелки; котел ТП-70; горелка прямоточно-улиточная; уголь тощий.

Свести материальный и тепловой балансы в данном сечении.

Решение. Расчеты, выполненные по формулам разделов 6 и 7, представлены в табл. 1, 2 приложения 1.

Таблица 1

Материальный баланс в сечении факела на расстоянии 200 мм от устья прямоточно-улиточной горелки

Расстояние от оси горелки r_i, мм	μ_i, кг/м³	w_{xi}, м/с	I_i^c, кг/кг	t_i, °С	$\frac{273}{273+t}$	$(CO_2)_i$, м³/м³	$(O_2)_i$, м³/м³	F_i, м²	$\rho_{(CO_2)i}\frac{12}{44}(CO_2)_i$, кг/м³	$F_i w_{xi}\frac{273}{273+t_i}3600$, м³/ч	g_{C_i}, кг/ч	$g_{(CO_2)i}$, кг/ч	$g_{(O_2)i}$, кг/ч	$g_{C_i}+g_{(CO_2)i}$, кг/ч	α_i
50	0,05	6,0	0,3	1270	0,177	0,04	0,165	0,456	0,0214	1745	32,1	37,4	412	69,51	2,83
150	0,05	6,0	0,35	1270	0,177	0,05	0,158	0,421	0,0268	1680	28,3	43,5	362	11,8	2,54
250	0,05	6,0	0,34	1270	0,177	0,068	0,14	0,393	0,0365	1505	25,5	55,0	301	80,5	2,1
350	0,05	6,0	0,34	1270	0,177	0,09	0,118	0,361	0,0485	1375	23,3	66,5	220	89,8	1,72
450	0,05	6,0	0,32	1280	0,176	0,118	0,09	0,330	0,0608	1775	28,4	107,0	228	135,4	1,47
550	0,05	6,0	0,28	1290	0,174	0,13	0,065	0,29	0,07	2050	28,7	143,5	191	172,2	1,34
650	0,05	12,5	0,25	1295	0,174	0,146	0,05	0,261	0,0785	2090	26,4	164,0	149	100,1	1,24
750	0,05	13,0	0,23	1290	0,174	0,152	0,048	0,236	0,0816	1930	26,4	157,5	133	183,9	1,18
850	0,05	13,0	0,275	1285	0,173	0,148	0,05	0,201	0,0795	1655	22,8	131,5	118,5	154,3	1,208
950	0,53	11,0	0,330	1270	0,176	0,14	0,056	0,1725	0,0758	1205	210	90,5	94,5	300,5	0,453
1050	0,555	6,0	0,40	1245	0,18	0,13	0,067	0,1412	0,07	550	122	38,4	47,9	160,4	0,346
1150	0,558	3,0	0,50	1270	0,184	0,113	0,088	0,11	0,0607	—218	60,9	— 13,2	— 25,6	—74,1	0,322
1250	0,05	5,0	0,51	1180	0,187	0,094	0,10	0,0785	0,0508	—264	— 80,6	— 13,3	— 37	—21,36	1,38
1350	0,05	6,5	0,72	1100	0,197	0,076	0,124	0,0471	0,0408	—217	— 7,81	— 8,85	— 33,4	—16,66	1,47
1450	0,05	— 7,0	0,76	930	0,225	0,056	0,15	0,0157	0,0301	—89,3	— 3,39	- 2,69	— 19,2	—6,08	1,65
1550	0,05	7,0	0,75	910	0,230	0,034	0,176	0,0157	0,0183	—91	3,41	- 1,65	— 22,9	—5,065	2,04
1650	0,025	— 6,5	0,74	910	0,230	0,018	0,192	0,0471	0,00965	—254	— 4,7	- 2,44	— 70,0	—7,14	4,0
1750	0,075	4,5	0,71	910	0,229	0,014	0,198	0,0785	0,00752	—291	— 16,1	— 2,18	— 82,5	—18,28	4,79
1850	0,555	0	0,74	920	0,237	0,012	0,188	0,110	0,0064	0	0	0	0	0	—
1950	0,556	6,5	0,74	930	0,226	0,013	0,197	0,1412	0,007	584	240	4,08	165	244,08	0,269
2050	0,530	10,0	0,735	950	0,223	0,019	0,188	0,1725	0,0102	1385	540	14,15	372	554,15	0,281
2150	0,03	10,2	0,73	935	0,217	0,03	0,17	0,204	0,0161	1625	35,6	26,2	391	61,2	2,98
2250	0,07	10,2	0,725	1050	0,206	0,04	0,158	0,236	0,0214	1785	90,5	38,2	404	128,7	1,56
2350	0,15	9,0	0,72	1070	0,203	0,013	0,156	0,267	0,0234	1750	189,0	40,5	393	229,5	0,86
2450	0,22	2,0	0,71	1060	0,204	0,047	0,154	0,298	0,0253	438	68,5	11,1	96,5	79,6	0,617
2550	0,285	0	0,70	1056	0,206	0,051	0,15	0,330	0,0274	0	0	0	0	0	0
										$\overset{+}{\Sigma}$=26 067	1732,1	1169	4078,6	2901,1	
										$\overline{\Sigma}$=1424,3	104,36	41,32	296,4	148,68	
										Σ=23 642,7	1627,7	1121,7	3782,2	2752,42	

Таблица 2

Тепловой баланс

Расстояние от оси горелки r_i, мм	t_i, °С	$\frac{F_{xi} w_{xi} \times}{\times \frac{273}{273 + t_i}} 3600$, м³/ч	$c_{p(CO_2)_i}(CO_2)_i$, ккал/м³	$c_{возд\,i}[1 - (CO_2)_i]$, ккал/(м³·°С)	$c_{п\,i} \mu_i$, ккал/(м³·°С)	Σc_i, ккал/(м³·°С)	$q_{воспр\,i}$, ккал/ч	$q_{выд\,i}$, ккал/ч	q_i, ккал/ч
50	1270	1745	0,0218	0,337	0,011	0,370	775	292	—483
150	1270	1620	0,0273	0,333	0,011	0,371	762,5	340	—422,5
250	1210	1505	0,0368	0,326	0,011	0,374	660	430	—230
350	1270	1375	0,049	0,320	0,011	0,380	665	519	—146
450	1280	1775	0,061	0,312	0,011	0,384	875	835	—40
550	1290	2050	0,071	0,306	0,011	0,389	1025	1120	95
650	1295	2090	0,080	0,30	0,011	0,390	1055	1280	225
750	1290	1930	0,083	0,298	0,011	0,392	977	1230	257
850	1285	1655	0,081	0,299	0,011	0,392	829	1025	196
950	1270	1205	0,076	0,301	0,0116	0,389	596	706	110
1050	1245	550	0,072	0,308	0,0122	0,391	266	300	34
1150	1210	—218	0,0611	0,307	0,0123	0,38	—100	—103	—3
1250	1180	—264	0,057	0,319	0,011	0,387	—121	—104	17
1350	1100	—217	0,0405	0,320	0,011	0,372	—88,9	—69	119
1450	930	—89,3	0,0292	0,322	0,011	0,362	—30,5	—20,9	10,5
1550	910	—91	0,0176	0,329	0,011	0,358	—29,6	—13,0	16,6
1650	910	—254	0,0093	0,334	0,0055	0,349	—98,5	—19,0	23,5
1750	910	—291	0,0073	0,334	0,0165	0,358	—95,0	—17	78,0
1850	920	0	0,0062	0,337	0,0122	0,355	0	0	0
1950	930	584	0,063	0,336	0,0122	0,354	192	31,9	—161,1
2050	950	1385	0,0099	0,335	0,0117	0,357	470	110,5	—359,5
2150	985	1625	0,0158	0,333	0,0066	0,355	568	204	—364
2250	1050	1785	0,0212	0,332	0,0154	0,368	689	898	—391
2350	1070	1750	0,0228	0,343	0,033	0,399	749	316	—433
2450	1060	438	0,025	0,329	0,0485	0,402	187	86,5	—100,5
2550	1050	0	0,027	0,328	0,0629	0,418	0	0	0
							$\dot{\Sigma}$ = 11 340,5	$\dot{\Sigma}$ = 9123,9	
							$\overline{\Sigma}$ = 468,6	$\overline{\Sigma}$ = 343,0	
							Σ = 10 871,9	Σ = 8778,9	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Справочное

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ОСТ 108.030.132—80. Котлы паровые стационарные. Методы испытаний.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). М., «Энергия», 1973. 295 с.
3. Кнорре Г. Ф. Тепловые расчеты по газовому анализу. М., Госэнергоиздат, 1947. 208 с.
4. Равич М. Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. М., «Наука», 1966. 300 с.
5. Пеккер Я. Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива. М., «Энергия», 1977. 266 с.
6. Трембовля В. И., Фингер Е. Д., Авдеева А. А. Теплотехнические испытания котельных установок. М., «Энергия», 1977. 296 с.
7. Данилин Е. А., Клочков В. Н. Обобщенные характеристики топлив непостоянного состава и определение коэффициента избытка воздуха на их основе. — «Теплоэнергетика», 1983, № 11, с. 75—77.
8. Шагалова С. Л., Шницер И. Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенераторов. Л., «Энергия», 1976. 176 с.
9. Шатиль А. А. Сжигание природного газа в камерах сгорания газотурбинных установок. Л., «Недра», 1972. 232 с.
10. Теплофизические свойства топлив и шихтовых материалов черной металлургии. Справочник/ Бабошин В. М., Кричевцов Е. А., Абзалов В. М., Щелоков Я. М. М., «Металлургия», 1982. 152 с.
11. Ашуров С. А. Применение углекислотной и кислородной формул для расчета коэффициента избытка воздуха при неполном сгорании топлива. — «Теплоэнергетика», 1974, № 3, с. 62—63.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Справочное

ПРОГРАММА И ПРИМЕР РАСЧЕТА НА ЭВМ МАТЕРИАЛЬНОГО И ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ФАКЕЛА

Программа (стр. 23—25) написана на языке ФОРТРАН-4 для ЭВМ типа ЕС. Ввод исходных данных осуществляется с перфокарт. Бланк для заполнения исходных данных приведен в табл. 1. В случае если количество опытных точек превышает число строк в таблице, результаты остальных замеров перфорируются в том же формате. Причем общее количество точек может быть не более 100. Условные обозначения исходных данных приведены в табл. 2, а расчетных величин — в табл. 3. Пример печати результатов расчета по исходным данным, приведенным в табл. 1 приложения 1, помещен в табл. 4 данного приложения.

ЛИСТ 1 ---Текст программы---

```
      IMPLICIT REAL(K,L,M,N)
      INTEGER U
      DIMENSION          BAX(100,15),V(15,5),CO2(100),CO(100),O2(100),
     *NO(100),CI(100),MU(100),TI(100),WX(100),F(100),F(100),G(100)
      DATA V/.5712,.5671,.5626,.5578,.5526,.5496,.5407,.5338,.5263,.5181
     *,.5090,.4988,.4875,.4750,.4609,.3625,.3607,.3587,.3565,.3542,.3517
     *,.3490,.3483,.3433,.3403,.3371,.3338,.3303,.3268,.3235,.3712,.3693
     *,.3673,.3653,.3631,.3608,.3584,.3557,.3629,.3498,.3463,.3426,.3384
     *,.3339,.3290, 1800.,.1700.,.1600.,.1500.,.1400.,.1300.,.1200.,.1100.,.1000
     *,.900.,.800.,.700.,.600.,.500.,.400.,.3508,.3490,.3470,.3449,.3427,
     *,.3404,.3378,.3352,.3324,.3295,.3265,.3233,.3201,.3171,.3144/
  100 FORMAT(//128('-')///)
  101 FORMAT(T115,'ЛИСТ 1'///)
  102 FORMAT(T15,'ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ МАТЕРИАЛЬНОГО И ТЕП
     *ЛОВОГО БАЛАНСА ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА'///)
  103 FORMAT(T25,'ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ СГОРЕВШЕГО И НЕСГОР
     *ЕВШЕГО ТОПЛИВА'///)
  104 FORMAT(T4,'N',T12,'CO2',T22,'CO',T32,'O2',T42,'NO2',T53,'WX',T63,'
     *QCГОР',T73,'QC1',T83,'QO2',T91,'QNO2',T100,'АЛЬФА'/)
  105 FORMAT(T2,I3,T10,F6.3,T20,F6.3,T30,F6.3,T40,F6.3,T50,F7.3,T60,F8.3
     *,T70,F8.3,T80,F9.3,T90,F6.3,T100,F8.2)
  106 FORMAT(T115,'ЛИСТ 2'///)
  107 FORMAT(T2,'ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО СГОРЕВШЕГО И НЕСГОРЕВШЕГО ТОПЛИВА
     *',T70,'ОПТИМАЛЬНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЛОКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ'///)
  108 FORMAT(T5,'GC=',F10.2,T25,'GCГОР=',F10.2,T45,'Q4=',F10.2 ///)
  109 FORMAT(T2,'QC=',F6.0,T20,'BГ=',F6.0,T40,'QH=',F6.0,T80,'GO=',F8.2,
     *T100,'CO2=',F8.2///)
  110 FORMAT(T12,'N',T22,'MU',T38,'F',T72,'N',T82,'QCГОР',T98,'QC1',T113
     *,'O2'/)
  111 FORMAT(T10,I3,T20,F6.3,T35,F6.3,T75,I3,T84,F8.3,T95,F8.3,T110,F8.3
     *)
  112 FORMAT(T115,'ЛИСТ 3'///)
  113 FORMAT(T5,'ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС В РАЗЛИЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ',T67,'ЛОКАЛЬНЫ
     *Е ПОТОКИ ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ И ВОСПРИНЯТОГО ТЕПЛА'/)
  115 FORMAT(T5,'QB=',F12.3,T30,'QГАЗ=',F14.3,T70,'QB=',F0.0,T95,'QT=',
     *F11.0///)
  114 FORMAT(T15,'ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА'///)
  116 FORMAT(T7,'N',T22,'QBГОР',T 39,'Q1ГАЗ',T72,'N',T83,'ЗГОР',T97,'QBO
     *СП',T110,'QBГОР',T122,'QBOСП'/)
  117 FORMAT(T5,I3,T20,F11.3,T35,F14.3,T70,I3,T80,F12.3,T93,F14.3,T106,
     *F9.3,T118,F12.3)
  118 FORMAT(T115,'ЛИСТ 4'///)
  119 FORMAT(T20,'СРЕДНЕРАСХОДНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВ И СРЕ
     *ДНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ'/)
  120 FORMAT(T9,'---',T29,'---',T47,'---',T67,'---',T87,'=',T102,'======')
  121 FORMAT(T9,'CO2=',T13,F9.5,T29,'CO=',T32,F9.5,T47,'O2=',T59,F9.5,T
     *67,'NO2=',T71,F9.5,T87,'T=',T89,F8.2,T102,'АЛЬФА=',T108,F6.2)
  122 FORMAT(F6.0,F9.0,F11.0,2F4.2,2F6.0)
  123 FORMAT(4F6.3,2F5.3,F5.0,F6.3)
      READ 11,U
      PRINT 11,U
   11 FORMAT(I4)
      READ 122,B,QB,QT,L0,DL,QRN
      PRINT 122,B,QB,QT,L0,DL,QRN
      DO 50 I=1,U
      READ 123,CO2(I),CO(I),O2(I),NO(I),CI(I),MU(I),TI(I),WX(I)
   50 PRINT 123,CO2(I),CO(I),O2(I),NO(I),CI(I),MU(I),TI(I),WX(I)
      SG=0.
      S1=0.
      SF=0.
```

ЛИСТ 2

```
      SCO2=0.
      SCO=0.
      SNO=0.
      SO2=0.
      ST=0.
      SST=0.
      SQB=0.
      SQC=0.
      SQO=0.
      SQI=0.
      SQV=0.
      CTOP=.24
      GMCO2=1.97
      GMCO=1.25
      GMO2=1.429
      GMNO=1.25
      PI=3.1416
      DO 1 I=1,U
      L=(I-.5)*DL
      E(I)=273./(T(I)+273.)
      F(I)=ABS(L0-L)*DL*PI
      G(I)=3600.*WX(I)*F(I)*E(I)
      GFI=G(I)/F(I)
      BAX(I,1)=G(I)*(12./44.*GMCO2*CO2(I)+12./28.*GMCO*CO(I))
      BAX(I,2)=G(I)*CH(I)*MU(I)
      BAX(I,3)=G(I)*O2(I)*GMO2
      BAX(I,4)=G(I)*NO(I)*GMNO
      BAX(I,5)=G(I)/8.89/(BAX(I,1)+BAX(I,2))
      SF=SF+F(I)
      SG=SG+G(I)
      S1=S1+WX(I)*F(I)
      SCO2=SCO2+CO2(I)*WX(I)*F(I)
      SCO=SCO+CO(I)*WX(I)*F(I)
      SNO=SNO+NO(I)*WX(I)*F(I)
      SO2=SO2+O2(I)*WX(I)*F(I)
      SQB=SQB+BAX(I,1)
      SQC=SQC+BAX(I,2)
      SQO=SQO+BAX(I,3)
1     CONTINUE
      SQ4=8100.*SQC/QRN/8
      CO2SR=SCO2/S1
      COSR=SCO/S1
      NOSR=SNO/S1
      O2SR=SO2/S1
      GSR=(SQB+SQC)/SF
      DO 8 I=1,U
      BAX(I,6)=BAX(I,1)/F(I)/GSR
      BAX(I,7)=BAX(I,2)/F(I)/GSR
      BAX(I,8)=BAX(I,3)*SF/F(I)/SQO
      DO 2 J=1,15
      IF(T(I)-V(J,4))6,3,4
3     C1=V(J,1)
      C2=V(J,2)
      C3=V(J,3)
      C5=V(J,5)
      GO TO 5
4     E1=(T(I)-V(J-1,4))/(V(J,4)-V(J-1,4))
      C1=V(J-1,1)+(V(J,1)-V(J-1,1))*E1
      C2=V(J-1,2)+(V(J,2)-V(J-1,2))*E1
      C3=V(J-1,3)+(V(J,3)-V(J-1,3))*E1
```

ЛИСТ 3

```
      C5=V(J-1,5)+(V(J,5)-V(J-1,5))*E1
      GO TO 5
    6 C1=.3821
      C2=.3038
      C3=.3119
      C5=.3092
    2 CONTINUE
    5 N2=1.-CO2(I)-CO(I)-C2(I)
      CSM=C1*CO2(I)+C2*CO(I)+C3*O2(I)+C5*N2+CTOP*MU(I)
      BAX(I,9)=8100.*BAX(I,1)
      BAX(I,10)=G(I)*TI(I)*CSM
      BAX(I,11)=BAX(I,9)/F(I)
      BAX(I,12)=BAX(I,10)/F(I)
      BAX(I,13)=BAX(I,11)*SF/(QB+QT)
      BAX(I,14)=BAX(I,12)*SF/(QB+QT)
      SQI=SQI+BAX(I,9)
      SQV=SQV+BAX(I,10)
      ST=ST+CSM*TI(I)*WX(I)*F(I)*E(I)
      SST=SST+CSM*WX(I)*F(I)*E(I)
      TSR=ST/SST
      ALSR=SG/8.89/(SQB+SQC)
      PRINT 12,B,QB,QT,L0,DL,QRN
   12 FORMAT(//2X,7(2X,G10.4))
      DO 13 I=1,U
   13 PRINT 14,CO2(I),CO(I),O2(I),NO(I),GI(I),MU(I),TI(I),WX(I)
   14 FORMAT(2X,8(2X,F10.4))
      PRINT 100
      PRINT 101
      PRINT 102
      PRINT 103
      PRINT 104
      PRINT 105,(I,CO2(I),CO(I),O2(I),NO(I),WX(I),(BAX(I,J),J=1,5),
     *I=1,U)
      PRINT 100
      PRINT 106
      PRINT 107
      PRINT 108,SQC,SQB,SQ4
      PRINT 109,QC,B,QRN,SG,SQO
      PRINT 110
      PRINT 111,(I,MU(I),GI(I),I,(BAX(I,J),J=6,8),I=1,U)
      PRINT 112
      PRINT 113
      PRINT 114
      PRINT 115,SQI,SQV,QB,QT
      PRINT 116
      PRINT 117,(I,(BAX(I,J),J=9,10),I,(BAX(I,J),J=11,14),I=1,U)
      PRINT 100
      PRINT 118
      PRINT 119
      PRINT 120
      PRINT 121,CO2SR,COSR,O2SR,NOSR,TSR,ALSR
      STOP
      END
```

4 Заказ 15

Таблица 1

Расчет материального и теплового баланса

U
1 2 3

$B_г$	$Q_в$	$Q_т$	L	Δl	$Q_н^р$	$Q_с$
1 2 4 6	8 10 12 14	16 18 20 22 24 26	23	30 32	34 36 38	40 42 44

CO_2	CO	O_2	NO_2	$\Gamma^с$	λ	t	ω_x
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44							

Таблица 2

Условные обозначения исходных данных

Величина	Обозначение	Единица измерения
Количество точек	n	—
Расход топлива через горелку	$B_г$	кг/ч
Тепло, внесенное воздухом	$Q_в$	ккал
Тепло, введенное топливом	$Q_т$	ккал
Расстояние от стенки до оси горелки	L	м
Шаг	Δl	м
Теплотворная способность топлива	$Q_н^р$	ккал/кг
Концентрация газов в потоке: Углекислый газ	CO_2	—
Окись углерода	CO	—
Кислород	O_2	—
Двуокись азота	NO_2	—
Азот	N_2	—
Концентрация топливной пыли в потоке	μ	—
Содержание горючих в топливе	$Г^с$	—
Локальная температура в потоке	t	°С
Локальная скорость потока	ω_x	м/с

Таблица 3

Условные обозначения расчетных величин

Величина	Обозначение	Единица измерения
Локальный поток сгоревшего топлива	$g_C^{CO_2}$	кг/(м²·ч)
Локальный поток несгоревшего углерода	g_C	кг/(м²·ч)
Локальный поток остаточного кислорода	g_{O_2}	кг/(м²·ч)
Локальный поток двуокиси азота	g_{NO_2}	кг/(м²·ч)
Локальный избыток воздуха	α	—
Суммарный расход газов в сечении	$G_г$	нм³/ч
Суммарный расход сгоревшего топлива	$G_C^{CO_2}$	кг/ч
Суммарный поток несгоревшего углерода	G_C	кг/ч
Суммарный поток остаточного кислорода	G_{O_2}	кг/ч
Механический недожог	q_4	—
Относительная величина локального потока сгоревшего топлива	$p_C^{CO_2}$	—
Относительная величина локального потока несгоревшего углерода	p_C	—
Относительная величина локального потока остаточного кислорода	p_{O_2}	—
Локальное количество выделившего тепла	$q_{выд}$	ккал/ч
Локальное количество воспринятого тепла	$q_{воспр}$	ккал/ч
Локальный поток выделившегося тепла	$g_{выд}$	ккал/(м²·ч)
Локальный поток воспринятого тепла	$g_{воспр}$	ккал/(м²·ч)
Относительная величина локального потока выделившегося тепла	$g_{выд}/g_\Sigma$	—
Относительная величина локального потока воспринятого тепла	$g_{воспр}/\bar{g}_\Sigma$	—
Суммарное количество выделившегося тепла	$Q_{выд}$	ккал/ч
Суммарное количество воспринятого тепла	$Q_{воспр}$	ккал/ч
Среднерасходные значения концентраций газов: Углекислый газ	$\overline{CO_2}$	—
Окись углерода	$\overline{CO}$	—
Кислород	$\overline{O_2}$	—
Двуокись азота	$\overline{NO_2}$	—
Среднерасходное значение температуры	$\bar{t}$	°С
Среднерасходное значение избытка воздуха	$\bar{\alpha}$	—

Таблица 4

Лист 1

Определение локальных потоков материального и теплового баланса пылеугольного факела

Определение локальных потоков сгоревшего и несгоревшего топлива

N	CO2	CO	O2	NO2	HX	QCгор	QC1	QO2	QNO2	Альфа
1	0.040	0.0	0.165	0.0	6.000	37.413	26.113	410.473	0.0	3.08
2	0.050	0.0	0.158	0.0	6.000	43.541	28.344	365.952	0.0	2.54
3	0.068	0.0	0.140	0.0	6.000	54.829	25.513	300.242	0.0	2.10
4	0.090	0.0	0.118	0.0	6.000	66.763	23.472	232.816	0.0	1.72
5	0.110	0.0	0.090	0.0	6.000	79.407	20.040	161.086	0.0	1.42
6	0.130	0.0	0.065	0.0	6.000	78.645	15.764	104.587	0.0	1.34
7	0.148	0.0	0.050	0.0	12.500	164.114	26.152	149.486	0.0	1.24
8	0.152	0.0	0.048	0.0	13.000	157.209	22.149	132.110	0.0	1.21
9	0.148	0.0	0.050	0.0	13.000	133.156	23.025	119.648	0.0	1.21
10	0.140	0.0	0.056	0.0	11.000	91.060	211.736	96.078	0.0	0.45
11	0.130	0.0	0.067	0.0	6.000	38.357	121.916	52.579	0.0	0.39
12	0.113	0.0	0.088	0.0	-3.000	-13.272	-50.292	-27.490	0.0	0.33
13	0.094	0.0	0.100	0.0	-5.000	-13.415	-6.773	-37.957	0.0	1.48
14	0.078	0.0	0.124	0.0	-6.500	-8.953	-7.693	-38.851	0.0	1.46
15	0.058	0.0	0.130	0.0	-7.000	-2.703	-3.414	-16.688	0.0	1.69
16	0.034	0.0	0.176	0.0	-7.000	-1.669	-3.748	-22.976	0.0	1.89
17	0.018	0.0	0.192	0.0	-6.500	-2.461	-4.708	-69.818	0.0	5.99
18	0.018	0.0	0.198	0.0	-4.500	-2.209	-16.296	-83.077	0.0	1.78
19	0.012	0.0	0.198	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.013	0.0	0.197	0.0	6.500	5.243	308.874	211.336	0.0	0.27
21	0.019	0.0	0.188	0.0	10.000	14.174	540.896	373.027	0.0	0.28
22	0.030	0.0	0.170	0.0	10.200	27.313	37.111	411.663	0.0	2.96
23	0.040	0.0	0.158	0.0	10.200	38.360	90.609	403.095	0.0	1.56
24	0.043	0.0	0.156	0.0	9.000	40.632	189.943	392.063	0.0	0.86
25	0.047	0.0	0.154	0.0	2.000	11.113	68.742	96.848	0.0	0.62
26	0.051	0.0	0.150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Продолжение табл. 4

ЛИСТ 2

ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО СГОРЕВШЕГО И НЕСГОРЕВШЕГО ТОПЛИВА

GC= 1676.57 GCГОР= 1036.74 Q4= 0.66

QC=****** BГ= 3700; QH= 5582.

N	MD	Г
1	0.050	0.300
2	0.050	0.350
3	0.050	0.340
4	0.050	0.340
5	0.050	0.320
6	0.050	0.280
7	0.050	0.250
8	0.050	0.230
9	0.050	0.275
10	0.530	0.330
11	0.555	0.400
12	0.558	0.500
13	0.050	0.510
14	0.050	0.720
15	0.050	0.760
16	0.055	0.750
17	0.025	0.740
18	0.075	0.740
19	0.555	0.740
20	0.556	0.740
21	0.530	0.735
22	0.030	0.730
23	0.070	0.725
24	0.150	0.720
25	0.220	0.710
26	0.285	0.700

ОПТИМАЛЬНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЛОКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ

GO=22459.31 GO2= 3717.03

N	QCГОР	QO1	O2
1	0.165	0.115	1.310
2	0.206	0.134	1.262
3	0.280	0.130	1.118
4	0.370	0.130	0.942
5	0.462	0.122	0.714
6	0.528	0.106	0.512
7	1.231	0.196	0.819
8	1.337	0.188	0.820
9	1.306	0.226	0.857
10	1.056	2.455	0.820
11	0.543	1.727	0.544
12	-0.242	-1.111	-0.366
13	-0.342	-0.173	-0.707
14	-0.381	-0.336	-1.205
15	-0.345	-0.435	-1.553
16	-0.213	-0.481	-2.139
17	-0.105	-0.200	-2.166
18	-0.056	-0.416	-1.547
19	0.0	0.0	0.0
20	0.074	4.376	2.186
21	0.164	6.270	3.157
22	0.268	0.364	2.948
23	0.326	0.770	2.501
24	0.305	1.425	2.147
25	0.075	0.461	0.474
26	0.0	0.0	0.0

Продолжение табл. 4

ЛИСТ 3

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС В РАЗЛИЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ ЛОКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ И ВОСПРИНЯТОГО ТЕПЛА

ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА

Q3= 8397569.000 QГАЗ= 10504991.000 QВ= 2975000. QT= 20646000.

N	QВГОР	Q1ГАЗ	N	QГОР	QВОСП	QВГОР	QВОСП
1	303045.688	803199.938	1	665257.125	1763214.00	0.153	0.406
2	352682.563	751779.250	2	831571.875	1772581.00	0.191	0.408
3	444118.688	702502.250	3	1130937.000	1788904.00	0.260	0.412
4	540779.625	653509.750	4	1496828.000	1808855.00	0.344	0.416
5	643199.750	606429.938	5	1949871.000	1838403.00	0.449	0.423
6	637021.563	552800.625	6	2134419.000	1852227.00	0.491	0.426
7	1329324.000	1039822.500	7	4978072.000	3893942.00	1.145	0.896
8	1274042.000	956117.750	8	5407191.000	4057881.00	1.244	0.934
9	1078564.000	825986.438	9	5281797.000	4044908.00	1.215	0.931
10	737585.688	764109.438	10	4268731.000	4422236.00	0.982	1.018
11	310692.625	342057.375	11	2197693.000	2419552.00	0.506	0.557
12	-107503.625	-131408.375	12	-977693.875	-1195096.00	-0.225	-0.275
13	-108659.750	-116[illegible].3.125	13	-1383492.000	-1477881.00	-0.318	-0.340
14	-72517.750	-87991.563	14	-1538866.000	-1867228.00	-0.354	-0.430
15	-21892.492	-29713.531	15	-1393685.000	-1891576.00	-0.321	-0.435
16	-13516.059	-29342.953	16	-860470.875	-1868056.00	-0.198	-0.430
17	-19933.500	-79448.938	17	-423005.000	-1685970.00	-0.097	-0.389
18	-17889.109	-94708.938	18	-227771.813	-1205874.00	-0.052	-0.277
19	0.0	0.0	19	0.0	0.0	0.0	0.0
20	42471.488	328341.938	20	300424.563	2322546.00	0.069	0.534
21	114811.188	614193.500	21	664464.000	3554614.00	0.153	0.818
22	221238.875	549624.313	22	1083424.000	2691553.00	0.249	0.619
23	310782.000	678017.188	23	1318999.000	2877593.00	0.303	0.662
24	329115.250	718934.500	24	1232478.000	2692282.00	0.284	0.619
25	90015.188	186262.188	25	301607.438	624095.31	0.069	0.144
26	0.0	0.0	26	0.0	0.0	0.0	0.0

СРЕДНЕРАСХОДНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВ И СРЕДНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЛИСТ 4

CO2= 0.08920 CO= 0.0 O2= 0.11253 NO2= 0.0 T= 1194.30 АЛЬФА= 0.93

СОДЕРЖАНИЕ

1. Условные обозначения 1
2. Определение обобщенных и приведенных характеристик топлив 3
3. Расчет теплотехнических характеристик 7
4. Особенности расчетов при ступенчатом сжигании топлив 10
5. Особенности расчетов при совместном сжигании топлив 11
6. Материальный баланс процесса горения 13
7. Тепловой баланс процесса горения 15
Приложение 1. Примеры расчетов 16
Приложение 2. Перечень использованных источников 21
Приложение 3. Программа и пример расчета на ЭВМ материального и теплового баланса факела 22

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Изм.	Номера листов (страниц)				Номер документа	Подпись	Дата	Срок введения изменения
	измененных	замененных	новых	аннулированных				

Редактор *Л. А. Подрезова*

Технический редактор *Н. П. Белянина* Корректор *Г. Д. Семенова*

Сдано в набор 04.01.85. Подписано к печ. 02.08.85. Формат бум. 60×90 1/8.

Объем 4 печ. л. Тираж 500. Заказ 15. Цена 80 коп.

Редакционно-издательский отдел НПО ЦКТИ.
194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24.

gost.e-ecolog.ru