

УТВЕРЖДАЮ:  
Заместитель начальника  
Главтехуправления  
Д.Я. ШАМАРАКОВ  
20 августа 1981 г.

**ТИПОВАЯ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
КОТЛА ТГМ-94  
ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА  
И ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Составлено Интехэнерго

С о с т а в и т е л и инженеры Ф.Е.ГУТ, Р.П.ДЗЕЛЗИК, Н.М.КОЛГОНОСОВА

Типовая энергетическая характеристика котла ТМ-4 составлена на базе тепловых испытаний, проведенных Интехэнерго на Литовской ГРЭС, Средазтехэнерго на Ташкентской ГРЭС, Донтехэнерго на Невинномысской ГРЭС, и отражает технически достижимую экономичность котла при работе с турбиной К-160-130 УТГЗ в понятых исходных условиях.

Типовая энергетическая характеристика может служить основой для составления нормативных характеристик котлов ТМ-94 при сжигании природного газа и мазута.

© СПО Союзтехэнерго, 1981.

Ответственный редактор Т.П.Леорова  
 Литературный редактор М.Г. Полоновская  
 Технический редактор Н.Д.Архипова  
 Корректоры К.И.Миронова  
 Л.Ф.Петрухина

Печ.л. 2,75	(усл.печ.л. 2,55 )	Подписано к печати 26.10.81	Формат 69x84 1/8
Заказ № 334/81		Уч.-изд.л. 2,5	Тираж 120 экз.
		Издат. № 282/81	Цена 38 коп.

Производственная служба передового опыта и информации Союзтехэнерго  
 105023, Москва, Семеновский пер., д.15  
 Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго  
 117292, Москва, ул.Ивана Ефремова, д.23, корп.2

Т а б л и ц а I	ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА Условия характеристики и основные показатели котла						Тип ТМ-04
Топливо: высокосернистый мазут марки М 100 Характеристика топлива на рабочую массу (принято) $Q_{H}^P = 38520 \text{ кДж/кг (9200 ккал/кг)}, S^P = 3,4; H^P = 0,14, W^P = 3,0$							
Показатель	Нагрузка котла, т/ч						
	200	250	300	350	400	450	500
1. Температура топлива на входе в котел $t_{тл}, ^\circ\text{C}$	← 120 →						
2. Температура холодного воздуха (среднегодовая) на входе в путьевой вентилятор до врезки рециркуляции $t_{х.в}, ^\circ\text{C}$	← 10 →						
3. Температура воздуха перед калориферами $t'_{кф}, ^\circ\text{C}$	14,5	14,0	13,5	13,5	16,0	15,5	15,5
4. Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель $t'_{вп}, ^\circ\text{C}$	← 70 →						
5. Температура питательной воды $t_{пв}, ^\circ\text{C}$	188	200	209	216	221	225	228
6. Температура уходящих газов $T_{yx}, ^\circ\text{C}$	143	148	153	159	164	169	174
7. Коэффициент рециркуляции дымовых газов $r, \%$	20	16	12	9	6	4	4
8. Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении $\alpha_{пн}''$	1,12	1,10	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03
9. Присоск воздуха на тракте, режимное сечение-дымосос $\Delta\alpha$	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25
10. Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах $\alpha_{yx}$	7,51	1,45	1,40	1,36	1,33	1,30	1,28
11. Потери тепла с уходящими газами $q_2, \%$	7,45	7,45	7,48	7,60	7,71	7,80	7,94
12. Потери тепла от химической неполноты сгорания $q_3, \%$	← 0 →						
13. Потери тепла от механической неполноты сгорания $q_4, \%$	← 0 →						
14. Потери тепла в окружающую среду $q_5, \%$	0,86	0,68	0,56	0,49	0,43	0,38	0,34
15. Коэффициент полезного действия брутто $\eta_{к}^{бр}, \%$	91,69	91,87	91,96	91,91	91,66	91,82	91,73

Показатель	Нагрузка котла, т/ч						
	200	250	300	350	400	450	500
Т а б л и ц а 2 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА Поправки и вспомогательные зависимости Тип ТМ-94							
I. Поправки к $q_2$ , %, на изменение:							
I.1. Содержания влаги в топливе на $\pm 1\%$	← $\pm 0,015$ →						
I.2. Температуры топлива на $\pm 1^\circ\text{C}$	← $\pm 0,4 \cdot 10^{-4}$ →						
I.3. Температуры холодного воздуха на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\mp 0,051$	$\mp 0,050$	$\mp 0,048$	$\mp 0,047$	$\mp 0,046$	$\mp 0,044$	$\mp 0,043$
I.4. Температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,033$	$\pm 0,033$	$\pm 0,033$	$\pm 0,033$	$\pm 0,034$	$\pm 0,034$	$\pm 0,034$
I.5. Температуры питательной воды на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,006$	$\pm 0,006$	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$	$\pm 0,008$	$\pm 0,008$	$\pm 0,009$
I.6. Коэффициента рециркуляции дымовых газов на $\pm 1\%$	$\pm 0,012$	$\pm 0,014$	$\pm 0,017$	$\pm 0,019$	$\pm 0,021$	$\pm 0,023$	$\pm 0,025$
I.7. Коэффициента избытка воздуха в режимном сечении на $\pm 0,01$	$\pm 0,045$	$\pm 0,047$	$\pm 0,049$	$\pm 0,051$	$\pm 0,052$	$\pm 0,054$	$\pm 0,056$
2. Поправки к температуре уходящих газов, $^\circ\text{C}$ , на изменение:							
2.1. Температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,58$	$\pm 0,60$	$\pm 0,62$	$\pm 0,63$	$\pm 0,65$	$\pm 0,66$	$\pm 0,68$
2.2. Температуры питательной воды на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,11$	$\pm 0,12$	$\pm 0,13$	$\pm 0,14$	$\pm 0,15$	$\pm 0,16$	$\pm 0,17$
2.3. Коэффициента рециркуляции дымовых газов на $\pm 1\%$	$\pm 0,22$	$\pm 0,27$	$\pm 0,32$	$\pm 0,36$	$\pm 0,41$	$\pm 0,46$	$\pm 0,50$
3. Вспомогательные зависимости:							
3.1. Физическое тепло топлива $Q_{тл}$ , кДж/кг (ккал/кг)	← 245 (58,4) →						
3.2. Тепло внешнего подогрева воздуха $Q_{тлв}$ , кДж/кг (ккал/кг)	850 (203)	861 (206)	867 (207)	861 (206)	822 (196)	827 (198)	823 (197)
3.3. Располагаемое тепло на 1 кг натурального топлива $Q_p^p$ , МДж/кг (ккал/кг)	39,61 (9461)	39,62 (9464)	39,63 (9465)	39,62 (9464)	39,59 (9454)	39,59 (9456)	39,59 (9455)
3.4. Коэффициент, учитывающий дополнительное тепло, внесенное в топку $K_q$	0,972	0,972	0,972	0,972	0,073	0,973	0,973
3.5. Теплопроизводительность котла брутто $Q_k^{бр}$ , МВт (Гкал/ч)	167,4 (144)	207,0 (178)	246,6 (212)	286,1 (246)	324,5 (278)	362,0 (312)	397,7 (342)
3.6. Расход топлива $B_p$ , т/ч	16,60	20,48	24,37	28,30	32,11	35,93	39,42
3.7. Мощность приводов РВП-54, кВт	← 21 →						
3.8. Мощность, потребляемая дутьевыми вентиляторами $N_{дв}$ , кВт (I скорость/II скорость)	305	320	355	400 700	475 730	775	840
3.9. Мощность, потребляемая дымососами $N_d$ , кВт	700	720	750	790	845	930	1040
3.10. Мощность, потребляемая дымососами рециркуляции $N_{дрг}$ , кВт	290	250	210	175	140	105	70
3.11. Мощность, потребляемая питательными электронасосами $N_{пзн}$ , кВт	2500	2720	2950	3170	3400	3600	3840

Показатель	Нагрузка котла, т/ч						
	200	250	300	350	400	450	500
3.12. Суммарные затраты мощности на собственные нужды $N_{сн}$ , кВт	3816	4031	4286	4556 4856	4881 5136	5431	5811
3.13. Удельный расход электроэнергии на питательный электронасос $\Sigma_{пн}$ МДж/МВт (кВт·ч/Гкал)	53,74 (17,36)	47,30 (15,28)	43,09 (13,92)	39,90 (12,89)	37,73 (12,19)	35,72 (11,54)	34,76 (11,23)
3.14. Удельный расход электроэнергии на тягу и дутья $\Sigma_{тд}$ МДж/МВт (кВт·ч/Гкал)	27,84 (8,99)	22,43 (7,25)	19,19 (6,20)	17,18 (5,55)	16,20 (5,23)		
3.15. Расход тепла на нагрев воздуха в калориферах $Q_{кф}$ , МВт (Гкал/ч)	3,92 (3,36)	4,89 (4,22)	5,87 (5,05)	6,77 (5,82)	7,33 (6,31)	8,26 (7,08)	9,01 (7,75)
3.16. Удельный расход тепла на нагрев воздуха в калориферах $q_{кф}$ , %	2,34	2,36	2,38	2,37	2,26	2,28	2,27
3.17. Потери тепла в калориферной установке $Q_{кф}$ , МВт (Гкал/ч)				0,180 (0,155)			
3.18. Расход тепла на нагрев топлива $Q_{тл}$ , МВт (Гкал/ч)	0,37 (0,33)	0,47 (0,40)	0,55 (0,47)	0,64 (0,55)	0,72 (0,62)	0,81 (0,70)	0,89 (0,77)
3.19. Удельный расход тепла на нагрев топлива $q_{тл}$ , %				0,22			
3.20. Потери тепла на обдувку РВП $Q_{обд}$ , МВт (Гкал/ч)				0,36 (0,31)			
3.21. Потери тепла с непрерывной продувкой котла $Q_{прод}$ , МВт (Гкал/ч)	0,13 (0,11)	0,16 (0,14)	0,19 (0,17)	0,22 (0,19)	0,26 (0,22)	0,29 (0,25)	0,32 (0,28)
3.22. Потери тепла на продувку механических форсунок $Q_{прод}$ , МВт (Гкал/ч)				0,019 (0,016)			
3.23. Удельный расход тепла на собственные нужды котла $Q_{к}^{сн}$ , %	0,41	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23	0,22

Т а б л и ц а 3	ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА Условия характеристики и основные показатели котла					Тип ТТМ-94	
Топливо: природный газ Низшая теплота сгорания $Q_n^p = 35,59 \text{ МДж/м}^3 \text{ (8500 ккал/м}^3\text{)}$							
Показатель	Нагрузка котла, т/ч						
	200	250	300	350	400	450	500
1. Температура топлива на входе в котел $t_{Tл}$ , °C	← IO →						
2. Температура холодного воздуха (среднегодовая) на входе в дутьевой вентилятор до врезки рециркуляции $t_{х.в}$ , °C	← IO →						
3. Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель $t'_{β.п}$ , °C	14,5	14,0	13,5	13,5	16,0	15,5	15,5
4. Температура питательной воды $t_{п.в}$ , °C	188	200	209	216	221	225	228
5. Температура уходящих газов $t_{ух}$ , °C	103	107	111	115	120	124	128
6. Коэффициент рециркуляции дымовых газов $r$ , %	28	21	14	9	5	3	2
7. Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении $\alpha_{пп}$	1,08	1,06	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04
8. Присосы воздуха на тракте, режимное сечение-дымосос $\Delta\alpha$	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25
9. Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах $\alpha$	1,47	1,41	1,37	1,34	1,32	1,30	1,29
10. Потери тепла с уходящими газами $q_2$ , %	5,41	5,43	5,52	5,62	5,81	5,94	6,11
11. Потери тепла от химической неполноты сгорания $q_3$ , %	← 0 →						
12. Потери тепла от механической неполноты сгорания $q_4$ , %	← 0 →						
13. Потери тепла в окружающую среду $q_5$ , %	0,88	0,70	0,58	0,50	0,44	0,39	0,35
14. Коэффициент полезного действия брутто $\eta_K^{бр}$ , %	93,71	93,87	93,90	93,88	93,75	93,67	93,54

Показатель	Нагрузка котла, т/ч						Тип ТГМ-04
	200	250	300	350	400	450	
I. Поправки к $q_2$ , %, на изменение: I.1. Температуры холодного воздуха на $\pm 1^\circ\text{C}$ I.2. Температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель на $\pm 1^\circ\text{C}$ I.3. Температуры питательной воды на $\pm 1^\circ\text{C}$ I.4. Коэффициента рециркуляции дымовых газов на $\pm 1\%$ I.5. Коэффициента избытка воздуха в режимном сечении на $\pm 0,01$							
±0,050	±0,049	±0,048	±0,047	±0,047	±0,046	±0,045	
±0,030	±0,030	±0,030	±0,031	±0,032	±0,032	±0,032	
±0,040	±0,046	±0,053	±0,059	±0,065	±0,072	±0,078	
±0,013	±0,015	±0,018	±0,020	±0,022	±0,024	±0,026	
±0,030	±0,032	±0,035	±0,037	±0,038	±0,041	±0,043	
2. Поправки к температуре уходящих газов, $^\circ\text{C}$ , на изменение: 2.1. Температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель на $\pm 1^\circ\text{C}$ 2.2. Температуры питательной воды на $\pm 1^\circ\text{C}$ 2.3. Коэффициента рециркуляции дымовых газов на $\pm 1\%$							
±0,590	±0,600	±0,605	±0,610	±0,615	±0,620	±0,630	
±0,069	±0,083	±0,096	±0,110	±0,123	±0,137	±0,150	
±0,22	±0,27	±0,32	±0,36	±0,41	±0,46	±0,50	
3. Вспомогательные зависимости: 3.1. Физическое тепло топлива $Q_{\text{тл}}$ , кДж/ $\text{м}^3$ (ккал/ $\text{м}^3$ )							
			15,5 (3,7)				
3.2. Тепло внешнего подогрева воздуха $Q_{\text{вн}}$ , кДж/ $\text{м}^3$ (ккал/ $\text{м}^3$ )	61,5 (14,7)	54,9 (13,1)	48,3 (11,5)	48,4 (11,6)	83,6 (20,0)	77,1 (18,4)	77,5 (18,5)
3.3. Располагаемое тепло на 1 $\text{м}^3$ натурального топлива $Q_{\text{р}}$ , кДж/ $\text{м}^3$ (ккал/ $\text{м}^3$ )	35,66 (8518)	35,66 (8518)	35,65 (8518)	35,65 (8518)	35,69 (8524)	35,66 (8522)	35,68 (8522)
3.4. Коэффициент, учитывающий дополнительное тепло, внешнее в топку $K_{\text{д}}$	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,997
3.5. Теплопроизводительность котла брутто $Q_{\text{к}}^{\text{бр}}$ , МВт (Гкал/ч)	167,4 (144)	207,0 (178)	246,6 (212)	286,1 (246)	324,5 (276)	362,9 (312)	397,7 (342)
3.6. Расход топлива $V_{\text{р}}$ , тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ , при нормальных условиях	18	22,3	26,5	30,6	35,1	39,1	42,9
3.7. Потери тепла с непрерывной продувкой $Q_{\text{прод}}$ , МВт (Гкал/ч)	0,13 (0,11)	0,16 (0,14)	0,19 (0,17)	0,22 (0,19)	0,26 (0,22)	0,27 (0,25)	0,32 (0,28)
3.8. Мощность приводов РВП-54, кВт				21			
3.9. Мощность, потребляемая дутьевыми вентиляторами $N_{\text{дв}}$ , кВт (I скорость/II скорость)	305	320	355	400 700	475 730	775	840
3.10. Мощность, потребляемая дымососами $N_{\text{д}}$ , кВт	660	690	720	740	790	860	960
3.11. Мощность, потребляемая дымососами рециркуляции $N_{\text{дрг}}$ , кВт	290	250	210	175	140	105	70

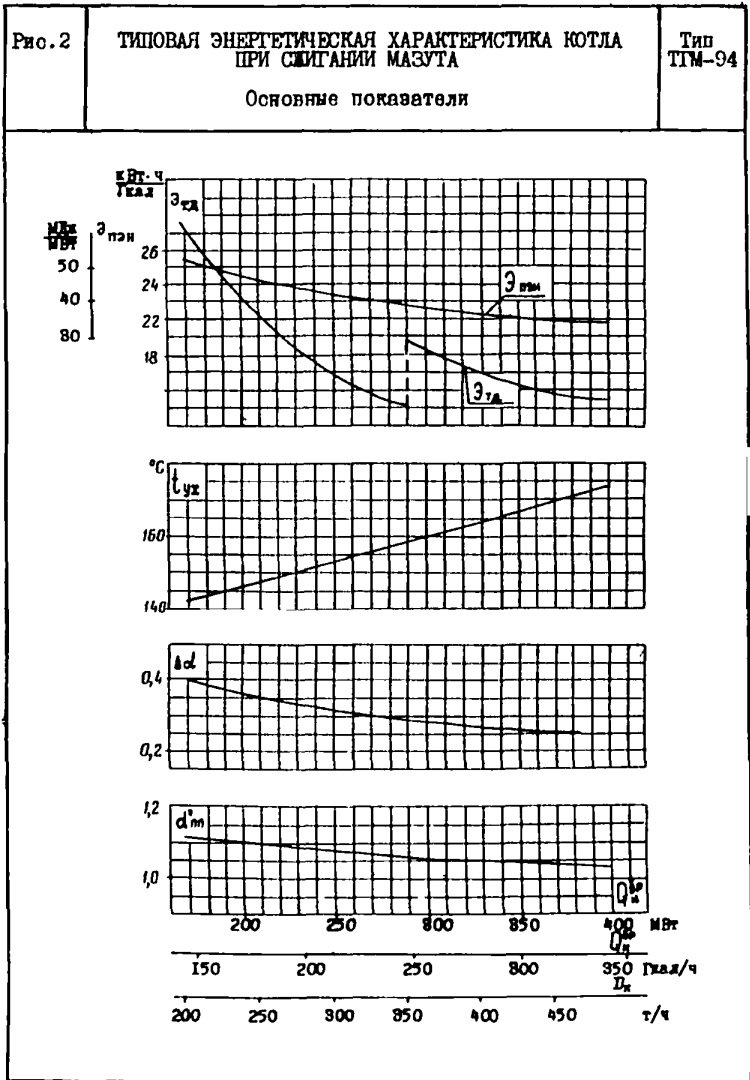
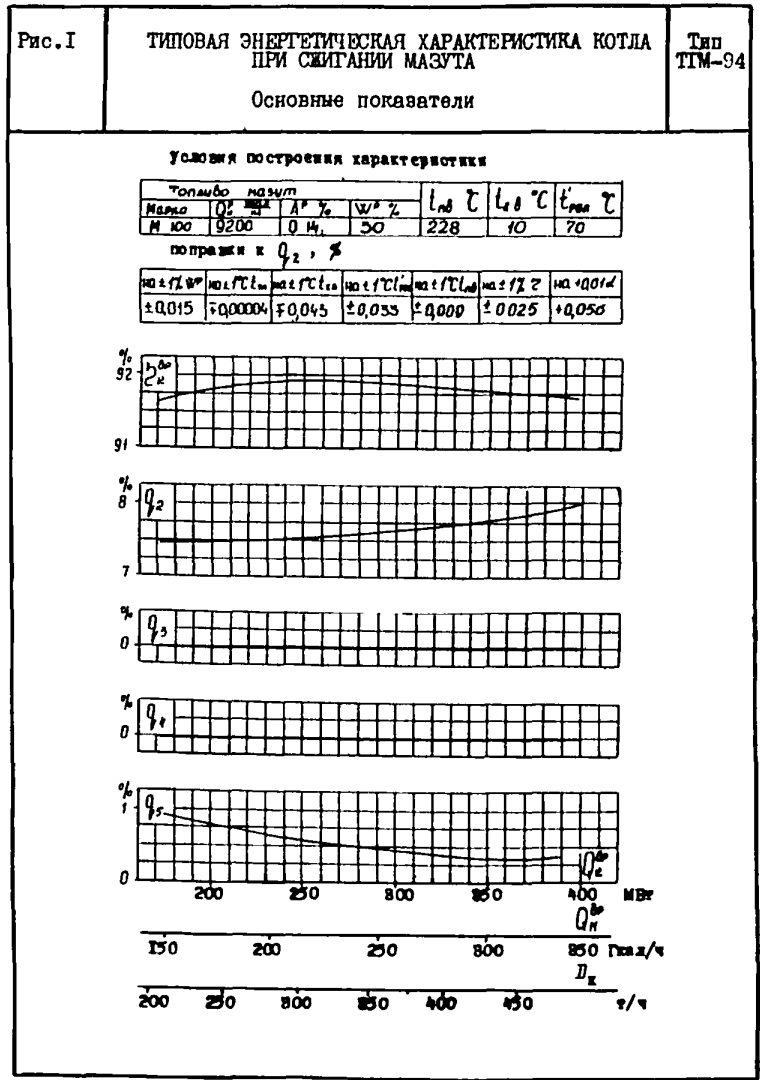
Показатель	Нагрузка котла, т/ч						
	200	250	300	350	400	450	500
3.12. Мощность, потребляемая питательными электронасосами $N_{пэн}$ , кВт	2500	2720	2950	3170	3400	3600	3840
3.13. Суммарные затраты мощности на собственные нужды $N_{сн}$ , кВт	3776	4001	4256	4506 4806	4826 5081	5361	5731
3.14. Удельный расход электроэнергии на питательный электронасос $\mathcal{E}_{пэн}$ , МДж/МВт (кВт·ч/Ткал)	53,74 (17,36)	47,30 (15,28)	43,09 (13,92)	39,90 (12,89)	37,73 (12,19)	35,72 (11,54)	34,76 (11,23)
3.15. Удельный расход электроэнергии на тягу и дутье $\mathcal{E}_{т.д}$ , МДж/МВт (кВт·ч/Ткал)	26,99 (8,72)	21,92 (7,08)	18,76 (6,06)	16,56 (5,35) 20,30 (6,56)	15,57 (5,03) 18,42 (5,95)	17,27 (5,58)	16,93 (5,47)



Т а б л и ц а 5	ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА			Тип ТМ-21	
	Сравнение данных типовой характеристики с данными заводского расчета				
	Показатель	Типовая характеристика			Заводской расчет
Мазут		Газ	Мазут	Газ	
1. Производительность котла $D_K$ , т/ч	500	500	500	500	
2. Давление в барабане котла $P_B$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	15,2 (155)	15,2 (155)	15,2 (155)	15,2 (155)	
3. Давление перегретого пара $P_{пе}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	137 (140)	137 (140)	137 (140)	137 (140)	
4. Температура перегретого пара $t_{пе}$ , °С	545	545	570*	570*	
5. Расход пара промперегрева $D_{пп}$ , т/ч	450	450	465	465	
6. Давление пара до промперегрева $P_{пп}'$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,99 (30,5)	2,99 (30,5)	3,1 (32,5)	3,1 (32,5)	
7. Давление пара после промперегрева $P_{пп}''$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,78 (28,3)	2,78 (28,3)	2,99 (30,5)	3,01 (31,0)	
8. Температура пара до промперегрева $t_{пп}'$ , °С	358	358	382	382	
9. Температура пара после промперегрева $t_{пп}''$ , °С	545	545	570*	570*	
10. Температура питательной воды $t_{п.в}$ , °С	228	228	230	230	
11. Температура холодного воздуха $t_{х.в}$ , °С	10	10	30	30	
12. Температура воздуха за калориферами $t_{к.в}$ , °С	70	-	-	-	
13. Коэффициент рециркуляции дымовых газов $\gamma$ , %	4	2	15	-	
14. Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении $\alpha_{пп}''$	1,03	1,04	1,15	1,17	
15. Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах $\alpha_{ух}$	1,28	1,29	1,37	1,37	
16. Температура уходящих газов $t_{ух}$ , °С	174	128	162	139	
17. Потери тепла с уходящими газами $q_2$ , %	7,94	6,11	6,88	5,40	
18. Потери тепла от химической неполноты сгорания $q_3$ , %	0,0	0,0	0,5	0,5	
19. Потери тепла от механической неполноты сгорания $q_4$ , %	0,0	0,0	0,0	0,0	
20. Потери тепла в окружающую среду $q_5$ , %	0,34	0,35	0,4	0,6	
21. Коэффициент полезного действия брутто $\eta_{к}^{бр}$ , %	91,72	93,54	92,22	93,0	
22. Коэффициент полезного действия брутто, приведенный к условиям заводского расчета** $\eta_{к}^{прив}$ , %	92,58	94,44			

\* Согласно Эксплуатационному циркуляру № Т-4/71. По вопросу снижения температуры перегретого пара энергоустановок (М.: СИНТИ ОТЕРАС, 1971), номинальная температура пара должна поддерживаться на уровне 545°С.

\*\* КПД брутто котла приведен к условиям заводского расчета только с учетом температуры холодного воздуха  $t_{х.в} = 30^{\circ}\text{C}$ .



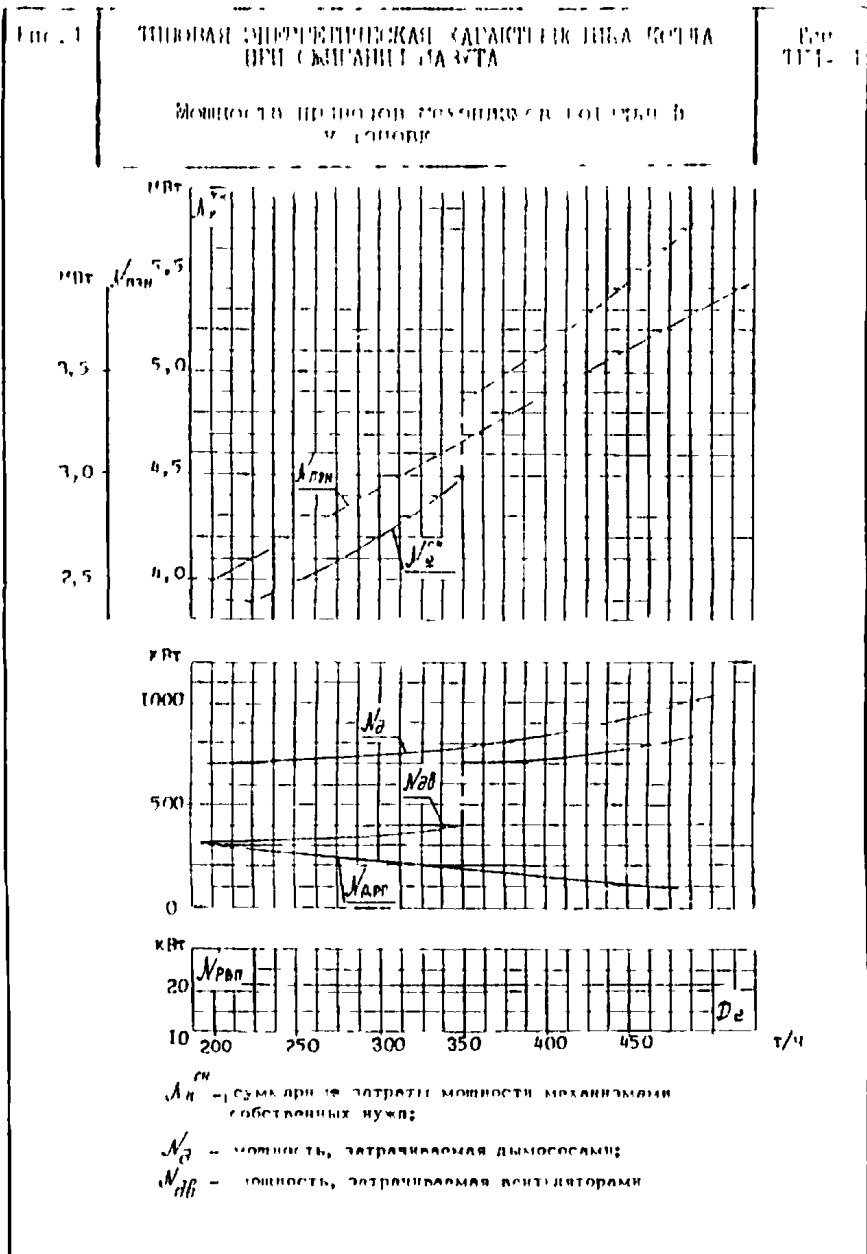
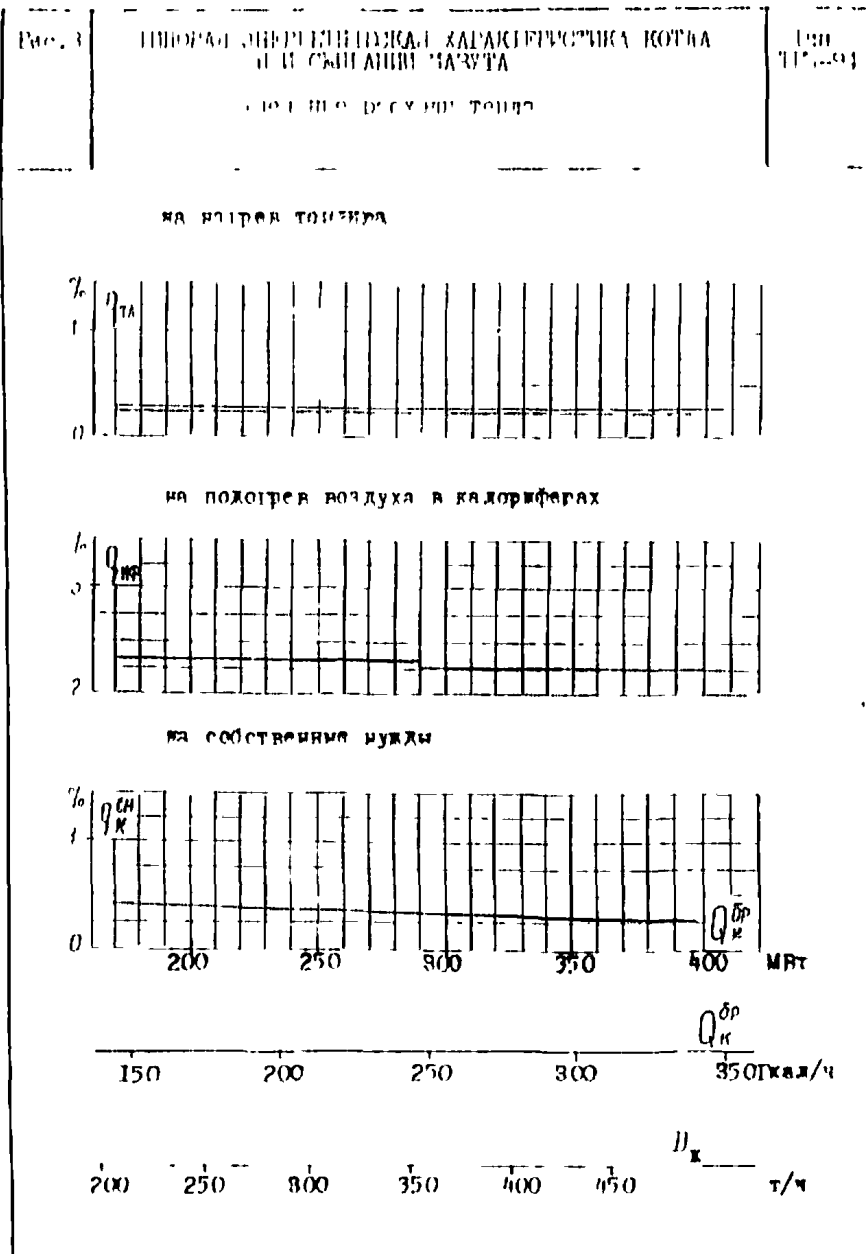
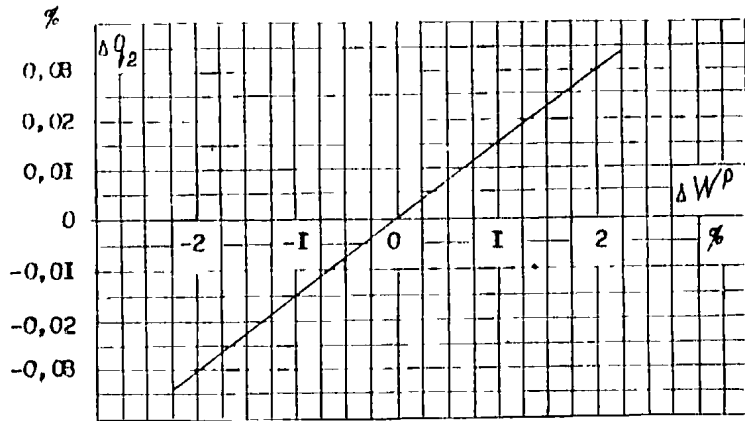


Рис. 5  
 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА  
 ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА  
 Поправки к  $q_2$   
 Тип  
 ТТМ-94

на изменение содержания влаги в топливе



на изменение температуры топлива

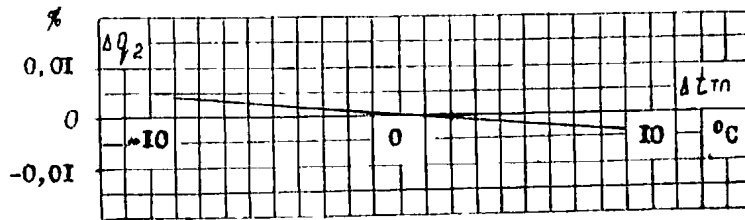
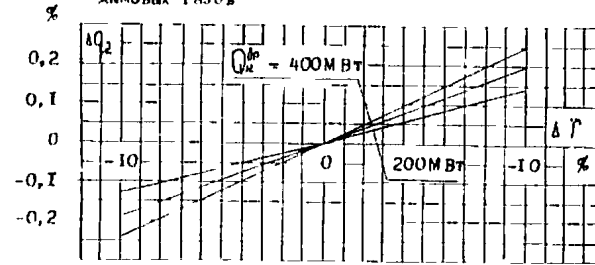
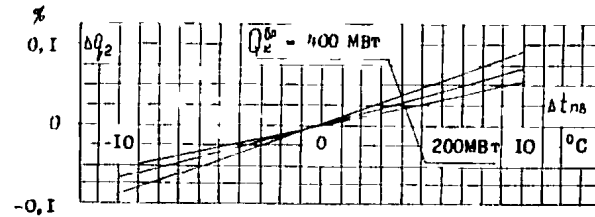


Рис. 6  
 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА  
 ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА  
 Поправки к  $q_2$   
 Тип  
 ТТМ-94

на изменение коэффициента рециркуляции  
 дымовых газов



на изменение температуры питательной воды



на изменение коэффициента избытка воздуха

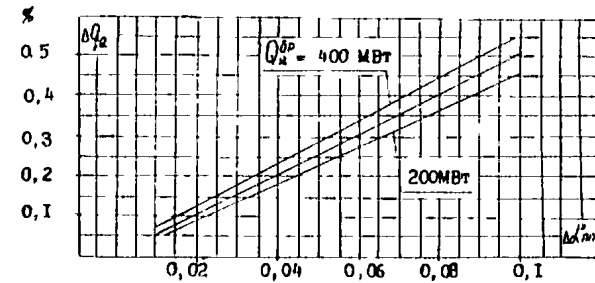


Рис. 7 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА  
 Поправки к  $q_2$  Тип ТТМ-04

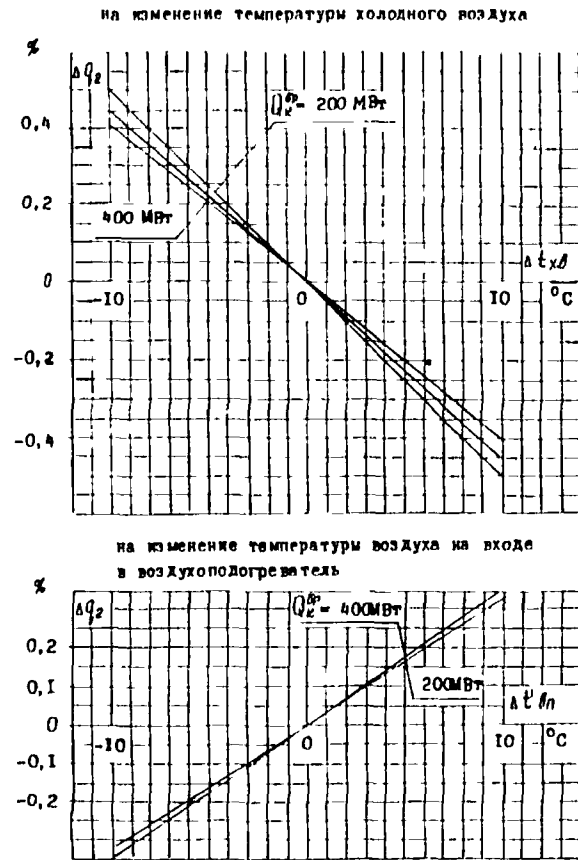
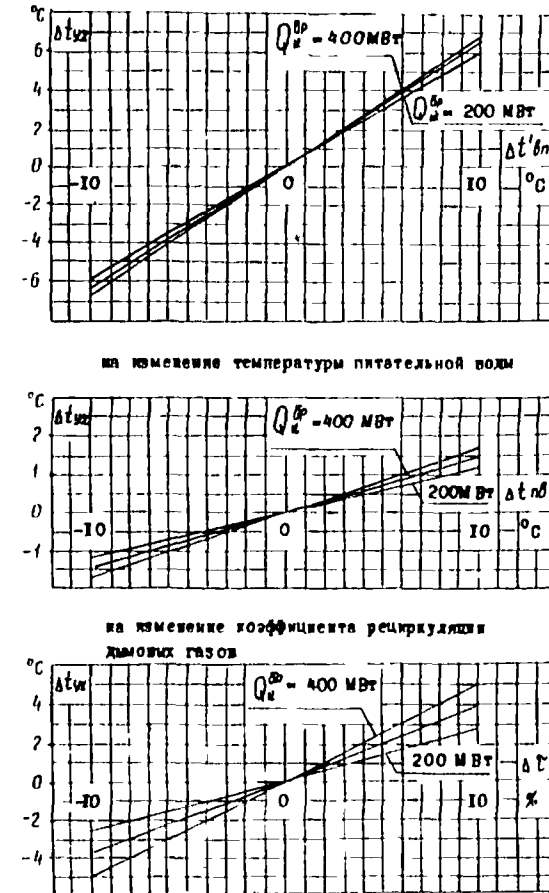


Рис. 8 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА  
 Поправки и температура уходящих газов Тип ТТМ-04



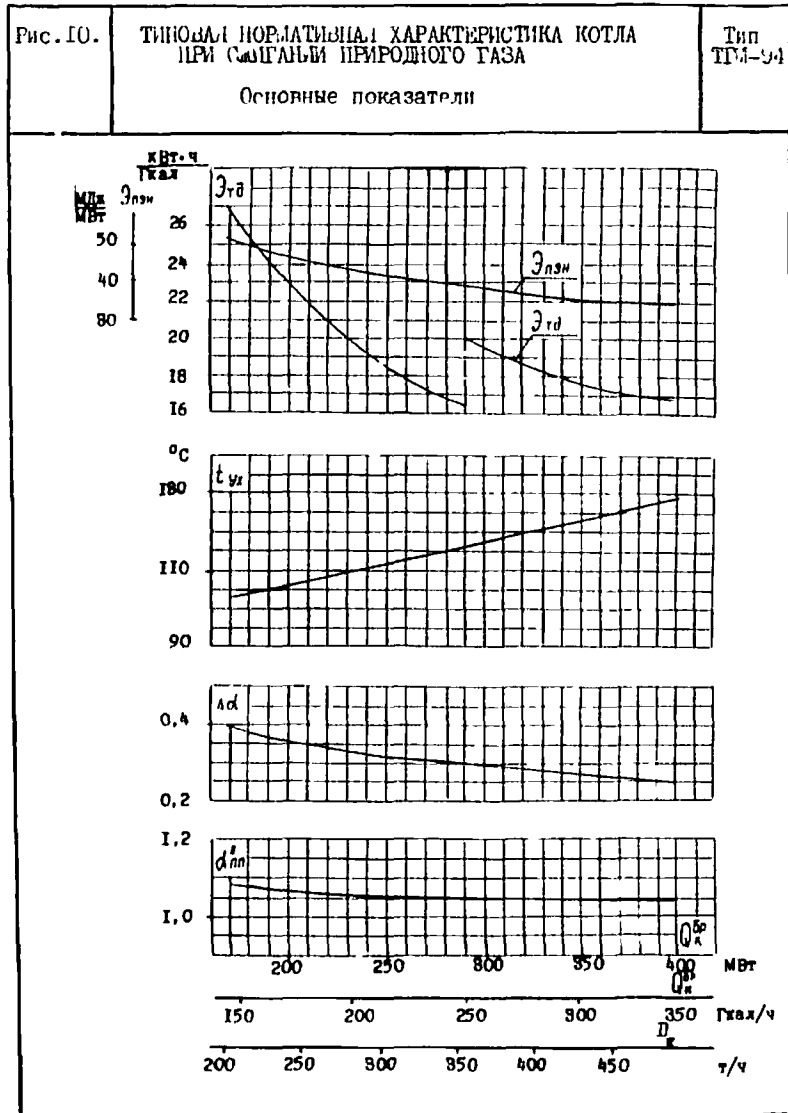
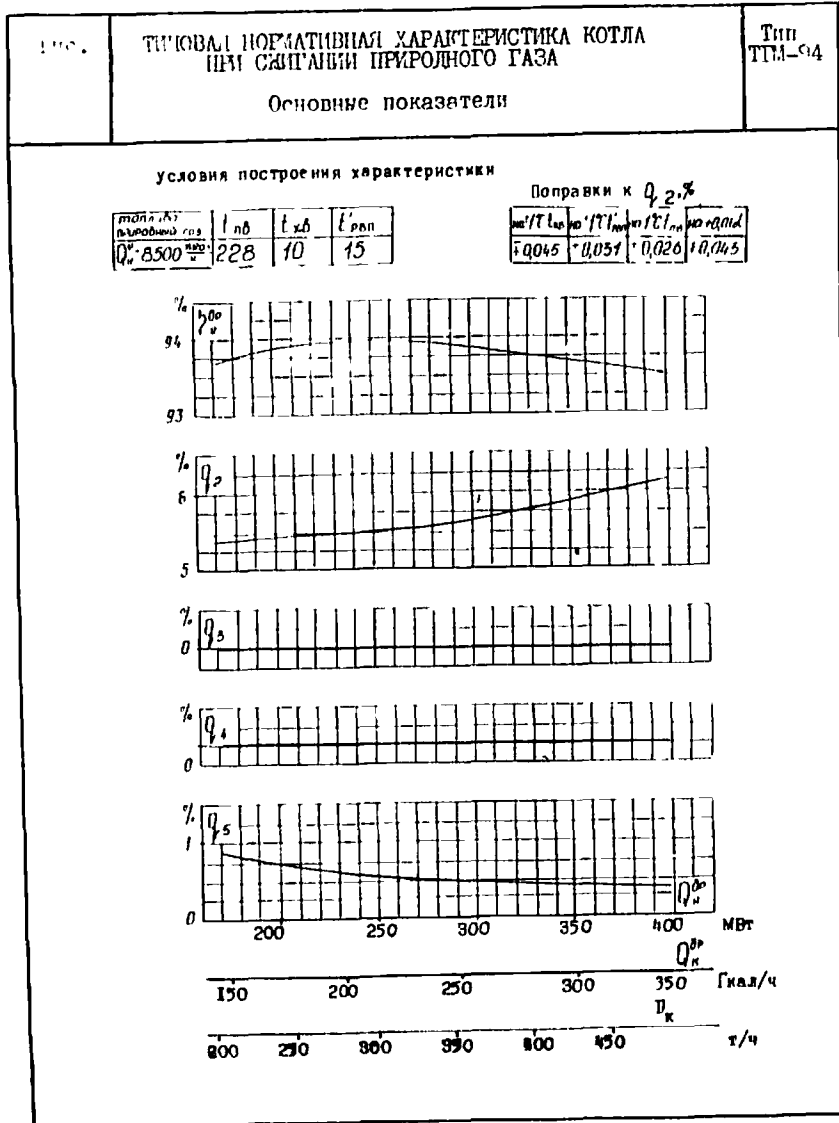


Рис. 11. ТИПОВАЯ НОРМАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА  
Мощности приводов механизмов котельной установки  
Тип ТМ-94

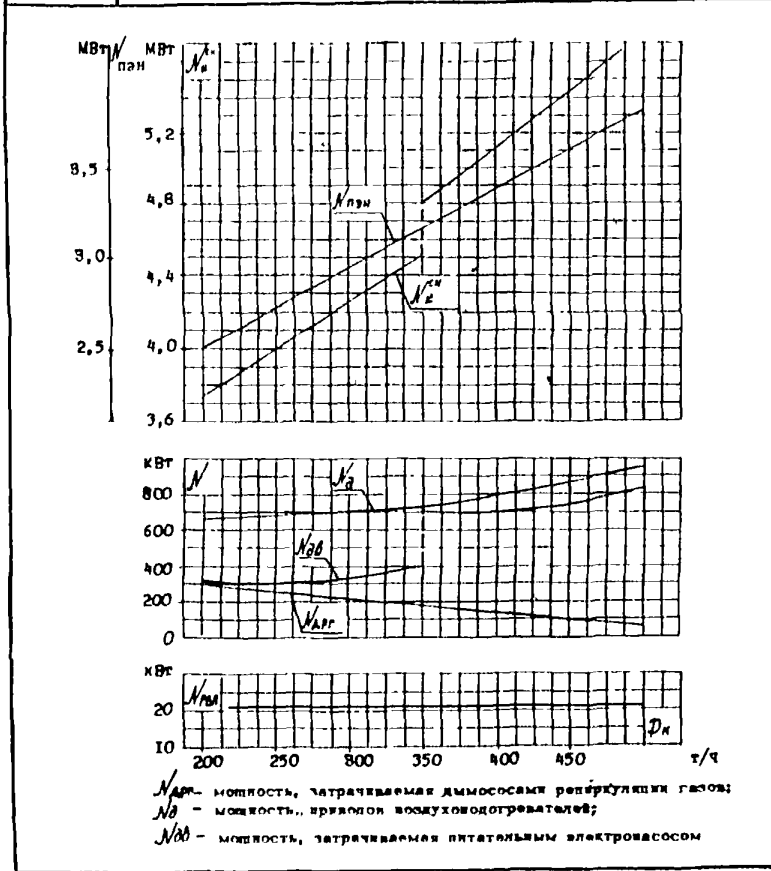


Рис. 12. ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА  
Поправки к  $q_2$   
Тип ТМ-94

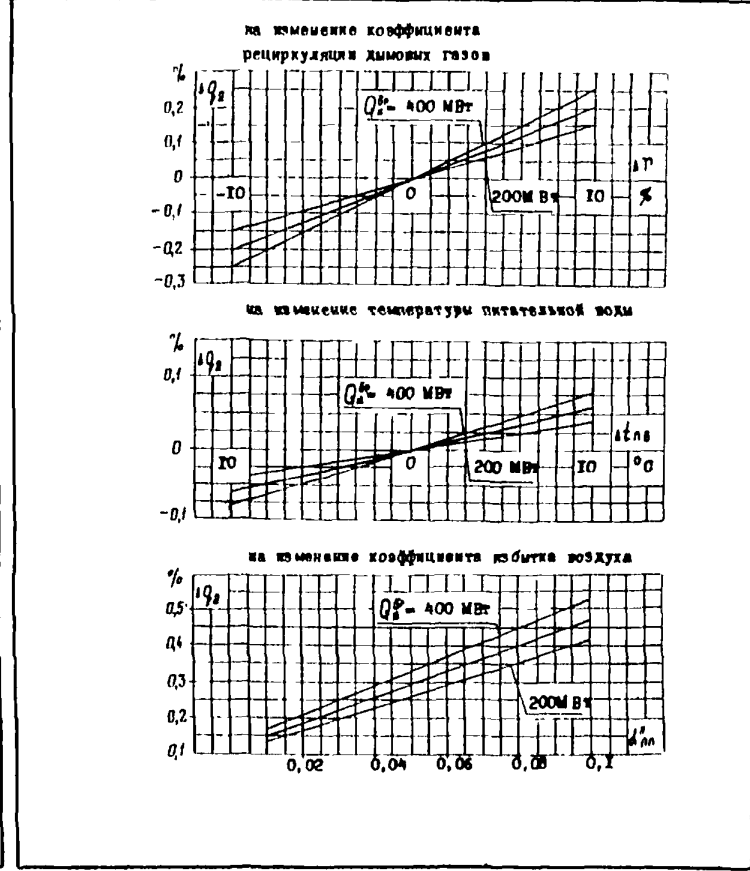


Рис. 13. ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА  
 Тип ТТМ-94  
 Поправка к  $q_2$

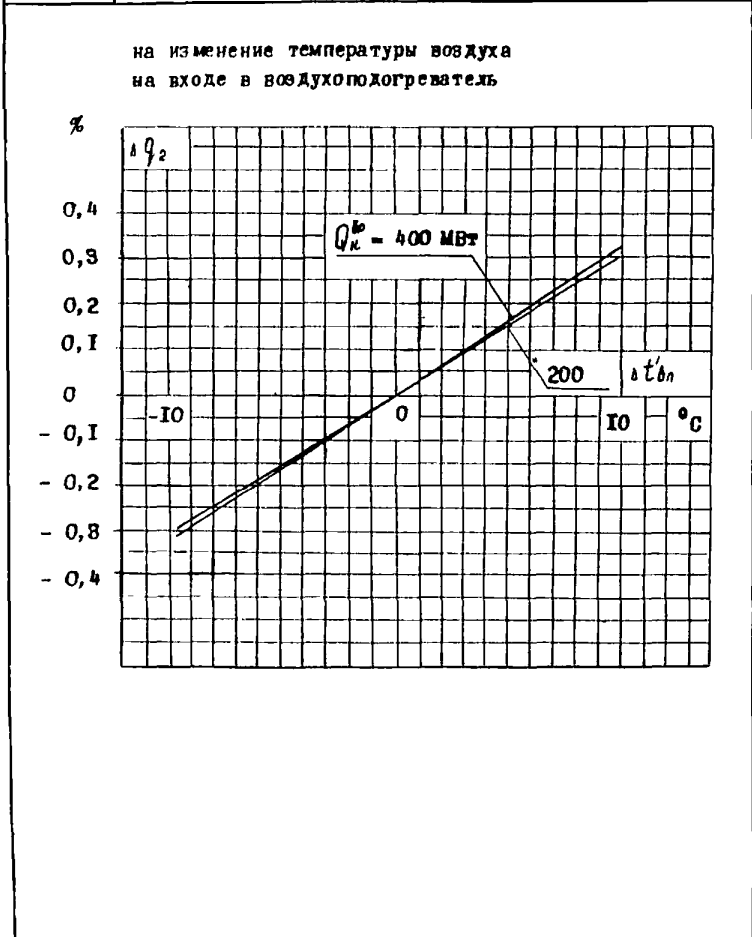
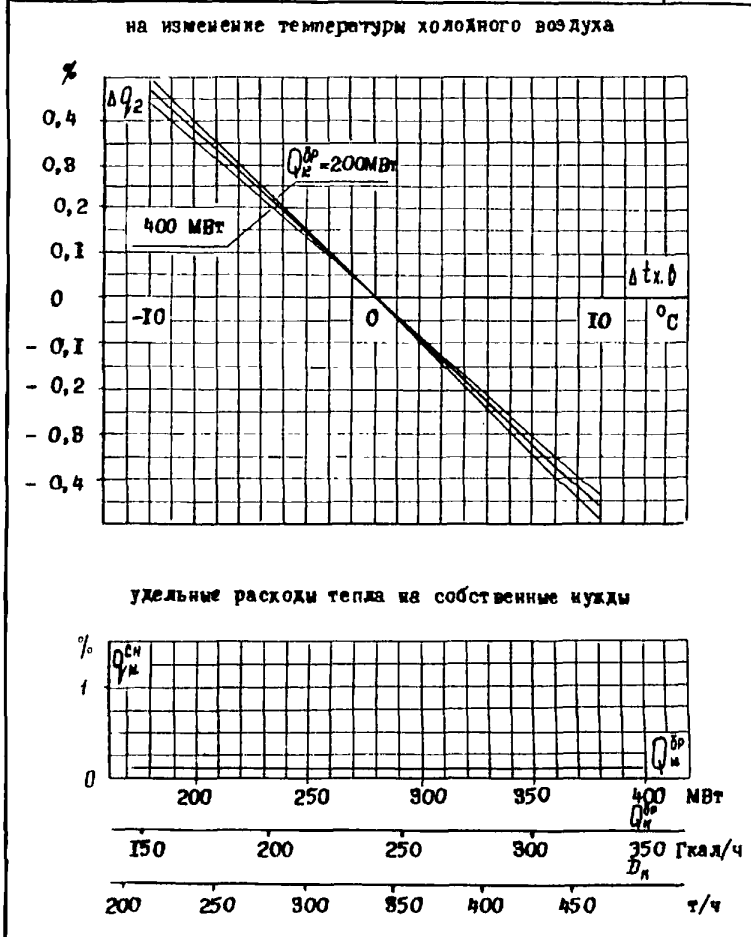
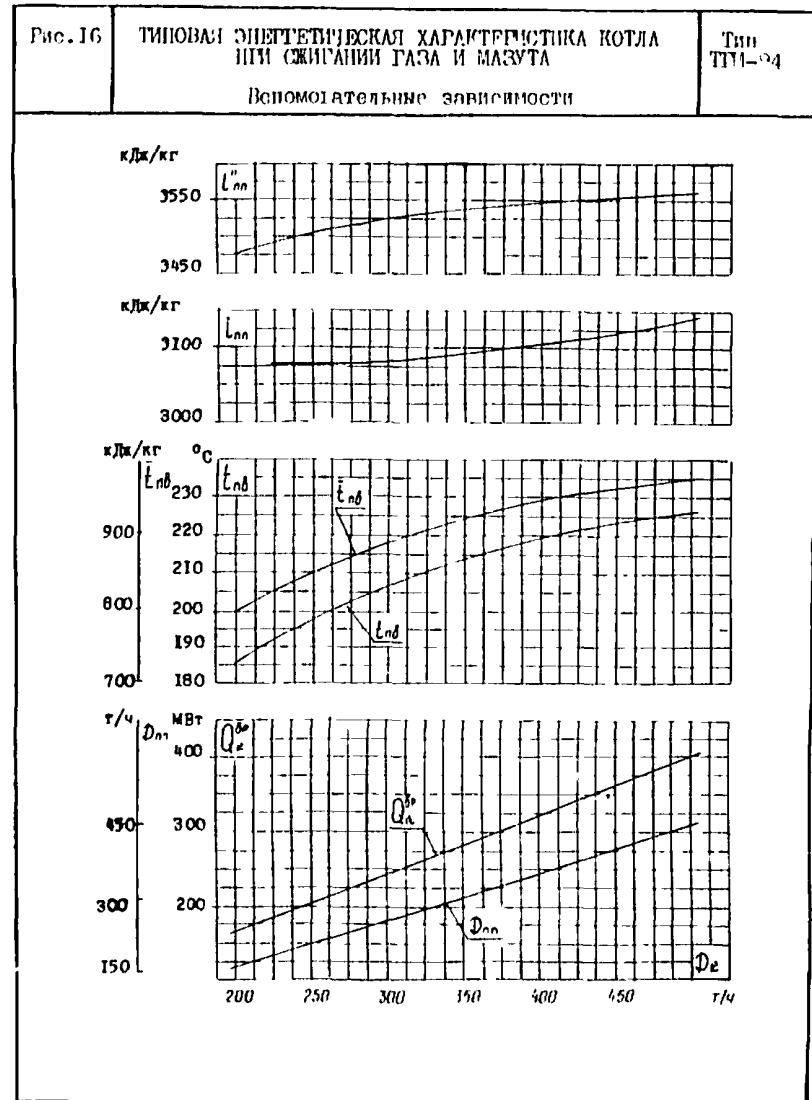
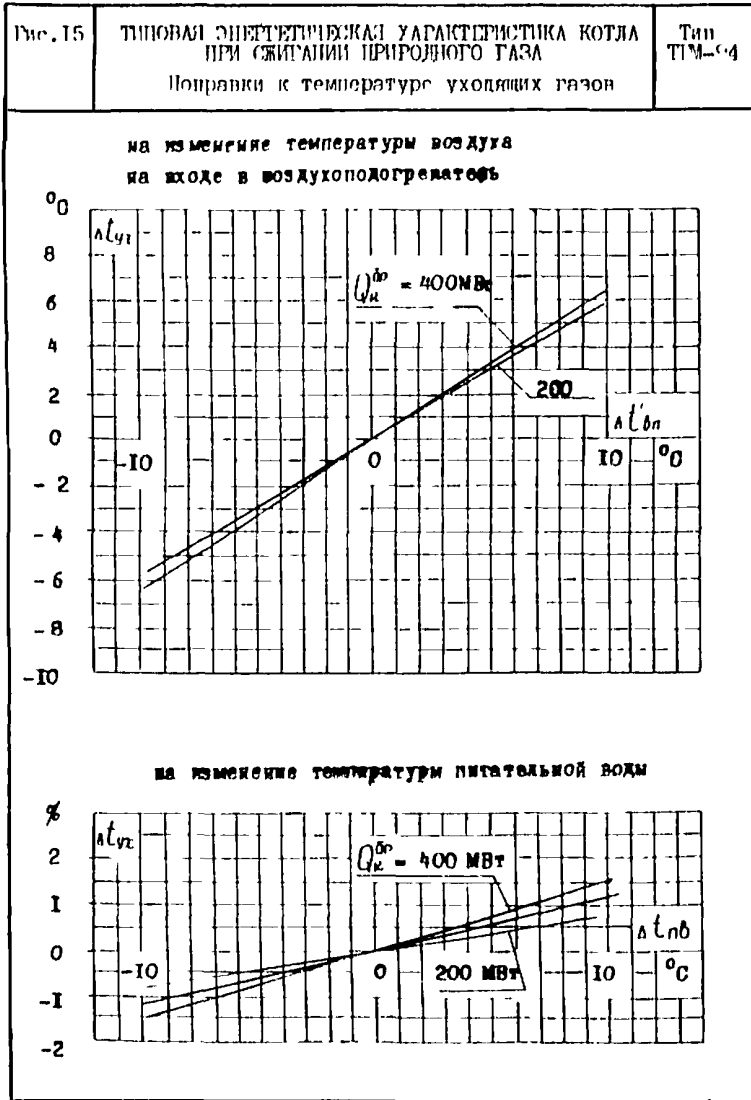


Рис. 14. ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА  
 Тип ТТМ-94  
 Поправка к  $q_2$ , удельный расход тепла







## I. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

I.1. Барабанный стационарный однокорпусный котел ТМ-94 ТКЗ с естественной циркуляцией, с промежуточным перегревом пара рассчитан на сжигание двух видов топлива: природного газа и мазута. Котел предназначен для работы в блоке с турбоагрегатом К-160-130 ХТГЗ.

Основные параметры котла при работе в блоке приведены в табл.5.

I.2. Котел имеет П-образную компоновку и оборудован 28 газомазутными вихревыми горелками, установленными на фронтальной стене топки в четыре яруса по семь штук. Мазут распыливается механическими форсунками, подача газа в горелках - центральная. Номинальная производительность одной горелки составляет по мазуту 2,4 т/ч, по газу 2500 м<sup>3</sup>/ч при нормальных условиях.

На некоторых котлах проведена реконструкция горелочных устройств по проекту ХФ ЦКБ. Вместо 28 горелок на фронтальной стене топки установлено шесть вихревых газомазутных горелок в два яруса по три штуки. Мазут распыливается механическими форсунками, подача газа в горелках центральная и периферийная. Номинальная производительность одной горелки составляет: по мазуту 6,7 т/ч, по газу - 7200 м<sup>3</sup>/ч.

I.3. На котле установлено три регенеративных воздухоподогревателя РВП-54, расположенных вне здания котельной. Для предварительного подогрева воздуха используются калориферы СО-110.

I.4. Температура перегретого пара регулируется впрысками, а пара промпрегрева - рециркуляцией дымовых газов.

I.5. Дымовые газы на рециркуляцию отбираются из газохлада котла перед РВП и подаются в топку через 28 прямоугольных сопел размером 450x100 мм, расположенных в один ряд на задней стене топки на уровне первого (нижнего) яруса горелок.

I.6. Большинство котлов укомплектовано:

- двумя дутьевыми вентиляторами двустороннего всасывания ВДВ-24x2. Производительность одного вентилятора 318,5·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>/ч, полный напор 3,6 кПа (367 мм вод.ст.) при температуре воздуха 30°С. Привод вентиляторов осуществляется от двухскоростных элект-

родвигателей мощностью по 1000/500 кВт со скоростью вращения 740/597 об/мин;

- двумя дымососами Д25х2IIIу производительностью 700·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>/ч каждый, полный напор 3,7 кПа (380 мм вод.ст.) при температуре 100°С. Привод дымососов осуществляется от двухскоростных электродвигателей мощностью по 1500/850 кВт со скоростью вращения 597/497 об/мин;

- двумя дымососами рециркуляции газов ВГД-15,5 производительностью 85·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>/ч каждый, полный напор 2,8 кПа (287 мм вод.ст.) при температуре газов 400°С. Привод дымососов рециркуляции осуществляется от электродвигателей мощностью 160 кВт со скоростью вращения 970 об/мин.

I.7. Наружные поверхности нагрева очищаются от золы отложений в конвективной шахте периодическим включением в работу дробеочистой установки. Набивка РВП очищается периодической обдувкой паром, подаваемым через аппараты ОП-5\*. После остановки котла на длительное время (более 5 сут) набивка РВП отмывается водой.

I.8. Технически возможный минимум паропроизводительности котла составляет 30% номинальной.

## 2. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ТМ-94

2.1. Типовая энергетическая характеристика котла ТМ-94 составлена на основании результатов четырех тепловых испытаний котлов Литовской, Ташкентской и Невинномысской ГРЭС при сжигании мазута и двух тепловых испытаний котлов Литовской и Ташкентской ГРЭС при сжигании природного газа в соответствии с нормативными материалами и методическими указаниями по нормированию технико-экономических показателей котлов. Характеристика отражает среднюю экономичность работы котла, вышедшего из капитального ремонта и работающего в блоке с турбиной К-160-130 ХТГЗ при ниже приведенных условиях, принятых за исходные.

\* В случае роста сопротивления РВП по газовой стороне до значения, ограничивающего производительность котла, производится водная обмывка РВП.

## 2.2. Исходные условия составления характеристики

2.2.1. Характеристика топлива - высокосернистый мазут М100 с характеристикой на рабочую массу:  $\lambda^p = 0,14\%$ ,  $W^p = 3,0\%$ ,  $S^p = 3,4\%$ ,  $\alpha_H^p = 38520 \text{ кДж/кг}$  (9200 ккал/кг); природный газ с низкой теплотой сгорания  $35,59 \text{ МДж/м}^3$  (8500 ккал/м<sup>3</sup>).

2.2.2. Температура мазута перед форсунками принята  $120^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{г.д}} = 120^\circ\text{C}$ ), исходя из условий вязкости мазута М100, равной  $2,5^\circ\text{ВУ}$  согласно § 15.41 ПТЭ.

2.2.3. Среднегодовая температура холодного воздуха на входе в дутьевой вентилятор принята равной  $10^\circ\text{C}$ .

2.2.4. Температура воздуха на входе в калориферы при изменении паропроизводительности котла от 40 до 100% изменяется в пределах  $13-16^\circ\text{C}$  за счет нагрева воздуха в вентиляторах.

2.2.5. При сжигании мазута температура воздуха на входе в воздухоподогреватель составляет  $70^\circ\text{C}$  и постоянна во всем диапазоне нагрузки котла согласно § 17.25 ПТЭ. При сжигании природного газа предварительный подогрев воздуха не производится.

2.2.6. Температура питательной воды на входе в котел и ее изменение при изменении паропроизводительности котла приведены по данным "Типовой энергетической характеристики нетто турбоагрегата К-160-130 ХТГЭ" (М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1975).

2.2.7. Значения коэффициента рециркуляции дымовых газов в топку котла приняты по данным тепловых испытаний. Для минимальной паропроизводительности эти значения максимально возможные для установки, выполненной согласно проекту.

2.2.8. Коэффициент избытка воздуха за пароперегревателем равен: 1,03 при сжигании мазута и 1,04 при сжигании природного газа при работе котла с номинальной паропроизводительностью. При снижении паропроизводительности до 40% номинальный коэффициент избытка воздуха возрастает до 1,12 при сжигании мазута и 1,08 при сжигании природного газа. Повышенные избытки воздуха при минимальной паропроизводительности котла поддерживают температуру пара промперегрева на приемлемом эксплуатационном уровне.

Для топок, оборудованных 28 горелками, рекомендуется следующее количество работающих горелок:

- при сжигании мазута в диапазоне изменения паропроизводительности от 40 до 70% - 12 горелок, отключены горелки первого и четвертого яруса и крайние горелки второго яруса; от 70 до 100% - 19 горелок, отключены горелки четвертого яруса и крайние горелки первого яруса;

- при сжигании природного газа в диапазоне изменения паропроизводительности котла от 40 до 70% - 12 горелок, отключены горелки первого и четвертого яруса и вторая и шестая горелки третьего яруса; от 70 до 100% - 19 горелок, отключены горелки четвертого яруса и вторая и шестая горелки третьего яруса.

2.2.9. Присосы воздуха в газовый тракт котла на номинальной нагрузке приняты равными 25%. С изменением нагрузки присосы воздуха определяются по формуле, %

$$\Delta\alpha_{\text{пр}} = \Delta\alpha_{\text{ном}} \sqrt{\frac{D_{\text{ном}}}{D_{\text{факт}}}}$$

2.3. В характеристике дана усредненная температура уходящих газов, измеренная в сечении на выходе газов из дымососа, которая соответствует проектной набивке РВП, приведенная к условиям эксплуатации котла, изложенным в п.2.2.

2.4. При проведении тепловых испытаний, на базе которых составлены типовые энергетические характеристики, применялась общепринятая методика, изложенная в книге "Теплотехнические испытания котельных установок" (М.: Энергия, 1977).

2.5. Коэффициент полезного действия брутто котла (%) и потери тепла с уходящими газами (%) подсчитаны в соответствии с методикой, изложенной в книге "Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива" (М.: Энергия, 1977):

$$\eta_{\text{к}}^{\text{бр}} = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5,$$

где для мазута

$$q_2 = (3,5\alpha_{\text{yx}} + 0,45) \left( t_{\text{yx}} - \frac{\alpha_{\text{yx}}}{\alpha_{\text{yx}} + 0,13} \cdot t_{\text{x.в}} \right) (0,9805 + 0,00013 t_{\text{yx}}) K_{\text{а}} 10^{-2};$$

для газа

$$q_2 = (3,53\alpha_{\text{yx}} + 0,6) \left( t_{\text{yx}} - \frac{\alpha_{\text{yx}}}{\alpha_{\text{yx}} + 0,18} \cdot t_{\text{x.в}} \right) (0,9805 + 0,00013 t_{\text{yx}}) K_{\text{а}} 10^{-2};$$

где

$$\alpha_{yx} = \alpha_{nn}'' + \Delta \alpha_{np}$$

2.6. Потери тепла от химической неполноты сгорания топлива приняты равными нулю, так как во время испытаний котла при избытках воздуха, принятых в типовой энергетической характеристике, они отсутствовали.

2.7. Потери тепла от механической неполноты сгорания топлива приняты равными нулю согласно "Положению о согласовании нормативных характеристик оборудования и расчетных удельных расходов топлива" (М.: СИТИ ОРГЭС, 1975).

2.8. Потери тепла в окружающую среду (%) при испытаниях не определялись. Они рассчитаны в соответствии с "Методикой испытаний котельных установок" (М.: Энергия, 1970) по формуле

$$q_s = q_s^{граф} \frac{D_{ном}}{D_{факт}} \frac{Q_H^p}{Q_p^p}$$

2.9. Удельный расход тепла на нагрев воздуха в калориферной установке при сжигании мазута подсчитан с учетом нагрева воздуха в вентиляторах. Удельный расход тепла на нагрев мазута подсчитан исходя из условия, что температура мазута в расходных баках составляет 80°C.

2.10. В удельный расход тепла на собственные нужды котельной установки включены потери тепла в калориферах, КИЦ которых принят 98%; потери тепла при продувке форсунок, при паровой продувке РВП и с непрерывной продувкой котла.

Расход тепла на паровую обдувку РВП рассчитывался по формуле, МВт (Гкал/ч)

$$Q_{обд} = G_{обд} i_{обд} \tau_{обд} 10^{-6},$$

где  $G_{обд} = 75$  кг/мин в соответствии с "Нормами расхода пара и конденсата на собственные нужды энергоблоков 300, 200, 150 МВт" (М.: СИТИ ОРГЭС, 1974);

$$i_{обд} = i_{нас. пара} (P_{пара} = 0,8 \div 1,0 \text{ МПа}, t_{пара} = 350^\circ \text{C});$$

$\tau_{обд} = 150$  мин (3 аппарата с продолжительностью обдувки 50 мин с однократным включением в течение суток).

Расход тепла с продувкой котла подсчитывается по формуле

$$Q_{прод} = G_{прод} i_{сбр} 0,5 \cdot 10^{-6},$$

где

$G_{прод} = 1\%$  производительностью котла;

0,5 - доля сбрасываемого конденсата из двухступенчатого расширителя продувки;

$i_{сбр} = 461$  кДж/кг - энтальпия сбросного конденсата.

Расход тепла на продувку форсунок подсчитывается по формуле

ле

$$Q_{пр.ф} = \frac{2 G_{пр.ф} i}{168},$$

где

$G_{пр.ф} = \alpha_{пр.ф} n_{ф}$  - расход пара на продувку форсунок;

$\alpha_{пр.ф} = 100$  кг - расход пара на продувку одной форсунки;

$n_{ф} = 28$  - количество форсунок;

$i = 700$  ккал/кг - энтальпия сбросного пара.

Форсунки продуваются два раза в неделю, перед снятием и после установки.

2.11. В расчет удельного расхода электроэнергии на тягу и дутье включены расходы электроэнергии на привод дутьевых вентиляторов, дымососов рециркуляции газов, измеренные при проведении тепловых испытаний и приведенные к условиям составления характеристики.

2.12. В суммарные затраты мощности механизмами собственных нужд котельной установки включены затраты мощности на привод питательного насоса, дымососов, дутьевых вентиляторов, дымососов рециркуляции дымовых газов и регенеративных воздухоподогревателей.

2.13. В удельный расход электроэнергии на собственные нужды не включен расход электроэнергии на привод воздухоудвки для подачи дробя из-за отсутствия данных. В настоящее время на котлах применяется также термовоздушная очистка. В каждом конкретном случае необходимо вносить коррективы в значение удельных расходов тепла или электроэнергии.

2.14. Работа котла в режиме скользящего давления возможна при паропроизводительности от 70 до 75% номинальной. При этом допускается возможность использования настоящей характеристики для определения экономичности работы котла.

### 3. ПОПРАВКИ К ПОРМАТИВНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

3.1. Для приведения основных нормативных показателей работы котла к измененным условиям его эксплуатации в допустимых пределах отклонения значений параметров, влияющих на эти условия, даны поправки для постоянной теплопроизводительности котла. Поправки к  $q_2$  (%) в виде графиков приведены на рис. 5, 6, 12-14. Поправки к температуре уходящих газов ( $^{\circ}\text{C}$ ) приведены на рис. 8, 15. Расчет поправок производить по следующим формулам:

3.1.1. На изменение вязкости мазута

$$\Delta q_2 = 0,015 (W^{\eta} - 3).$$

3.1.2. На изменение температуры мазута

$$\Delta q_2 = -0,4 \cdot 10^{-3} (t_{1л} - 120).$$

3.1.3. На изменение температуры холодного воздуха: при сжигании мазута

$$\Delta q_2 = -(0,057 - 35 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (t_{х.в} - 10);$$

при сжигании природного газа

$$\Delta q_2 = -(0,053 - 20 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (t_{х.в} - 10).$$

3.1.4. На изменение температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель от значения, приведенного в типовой характеристике,  $t_{рвп}^{норм}$ ;

при сжигании мазута (определена расчетным путем):

$$\Delta t_{yx} = (0,512 + 0,42 \cdot 10^{-3} Q_{\kappa}^{бр}) (t'_{рвп} - 70);$$

$$\Delta q_2 = (0,032 + 5 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (t'_{рвп} - 70);$$

\* Значения  $Q_{\kappa}^{бр}$  в формулах для определения поправок даны в мегаваттах.

при сжигании природного газа:

$$\Delta t_{yx} = (0,565 + 0,157 \cdot 10^{-3} Q_{\kappa}^{бр}) (t'_{рвп} - t_{рвп}^{норм});$$

$$\Delta q_2 = (0,028 + 11,0 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (t'_{рвп} - t_{рвп}^{норм}).$$

3.1.5. На изменение коэффициента рециркуляции дымовых газов от значения, приведенного в типовой характеристике,  $r^{норм}$ : при сжигании мазута:

$$\Delta t_{yx} = (0,02 + 1,2 \cdot 10^{-3} Q_{\kappa}^{бр}) (r - r^{норм});$$

$$\Delta q_2 = (0,003 + 55 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (r - r^{норм});$$

при сжигании природного газа:

$$\Delta t_{yx} = (0,02 + 1,2 \cdot 10^{-3} Q_{\kappa}^{бр}) (r - r^{норм});$$

$$\Delta q_2 = (0,004 + 55 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (r - r^{норм}).$$

3.1.6. На изменение температуры питательной воды от значения, приведенного в типовой характеристике,  $t_{п.в}^{норм}$ :

при сжигании мазута:

$$\Delta t_{yx} = (0,07 + 0,25 \cdot 10^{-3} Q_{\kappa}^{бр}) (t_{п.в} - t_{п.в}^{норм});$$

$$\Delta q_2 = (0,03 + 15 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (t_{п.в} - t_{п.в}^{норм});$$

при сжигании природного газа:

$$\Delta t_{yx} = (0,01 + 0,35 \cdot 10^{-3} Q_{\kappa}^{бр}) (t_{п.в} - t_{п.в}^{норм});$$

$$\Delta q_2 = (0,012 + 16,5 \cdot 10^{-6} Q_{\kappa}^{бр}) (t_{п.в} - t_{п.в}^{норм}).$$

3.1.7. На изменение коэффициента избытка воздуха в расчетном сечении от значения, приведенного в типовой характеристике:

при сжигании мазута

$$\Delta q_2 = (3,7 + 4,75 \cdot 10^{-3} \eta_k^{\text{пр}}) (\alpha_{\text{пл}}^{\text{н}} - \alpha_{\text{пл}}^{\text{норм}});$$

при сжигании природного газа

$$\Delta q_2 = (2,1 + 5,5 \cdot 10^{-3} \eta_k^{\text{пр}}) (\alpha_{\text{пл}}^{\text{н}} - \alpha_{\text{пл}}^{\text{норм}}).$$

Поправка к температуре уходящих газов на изменение коэффициента избытка воздуха в режимном сечении на основании экспериментальных данных при сжигании мазута и природного газа равна нулю.

3.2. Пользование системой поправок поясняется следующими примерами: котел работает на газе с теплопроизводительностью 265 кВт при следующих измененных условиях эксплуатации:

Температура холодного воздуха.....	20°C
Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель .....	24°C
Температура питательной воды .....	210°C
Коэффициент рециркуляции .....	7%

От значений параметров, указанных выше, вычитают значения тех же параметров, приведенных в типовой нормативной характеристике и подсчитывают их разность. Знак разности указывает направление изменения значений каждого параметра. Поправки для

этих разностей (с учетом их знака) находят по графикам рис. 12-14, 15, либо подсчитывают по формулам (п. 3.1.3-3.1.6).

Для указанного выше примера значений разностей и поправок следующие:

Разность	Поправки			
	по графикам $\Delta q_2$	$\Delta t_{yx}$	по формулам $\Delta q_2$	$\Delta t_{yx}$
$\Delta t_{x, \beta} = 20 - 10 = 10^\circ\text{C}$	-0,47	-	-0,473	-
$\Delta t_{\text{рвн}}' = 210 - 216 = -6^\circ\text{C}$	-0,035	-0,7	-0,035	-0,658
$\Delta t_{\sigma \beta} = 24 - 14 = 10,5^\circ\text{C}$	+0,31	+6,3	+0,318	+6,31
$\Delta r = 9 - 7 = +2\%$	+0,004	+0,8	+0,039	+0,724
<hr/>				
Итого ...	-0,155	+6,4	-0,151	

Нормативные значения температуры уходящих газов и  $q$  измененных условий эксплуатации составят:

$$t_{yx}^{\text{н}} = t_{yx}^{\text{норм}} \pm \Delta t_{yx} = 115 + 6,4 = 121,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$q_2^{\text{н}} = q_2^{\text{норм}} \pm \Delta q_2 = 6,07 - 0,155 = 5,915 \text{ } \%$$