

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

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

Составлено Кзтехэнерго

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

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

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

© СПО Сюзтехэнерго, 1981.

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

Печ.л. 2,75	(усл.печ.л. 2,55)	Уч.-изд.л. 2,5	Формат 60x84 1/8
Заказ № 334/81		Издат. № 282/81	Тираж 120 экз.
			Цена 30 коп.

Производственная служба передового опыта и информации Сюзтехэнерго
105023, Москва, Семеновский пер., д.15
Участок оперативной полиграфии СПО Сюзтехэнерго
117292, Москва, ул.Ивана Бабужкина, 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 ТТМ-04
Топливо: высокосернистый мазут марки М 100 Характеристика топлива на рабочую массу (принято) $Q_H^P = 38520$ кДж/кг (9200 ккал/кг), $S^P = 3,4$; $A^P = 0,14$, $W^P = 3,0$							
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 дутьевой 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. Присосы 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 α_{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 $\eta_K^{бр}, \%$	91,69	91,87	91,96	91,91	91,86	91,82	91,73

Показатель	ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА						Тип ТТМ-94
	Поправки и вспомогательные зависимости						
	Нагрузка котла, т/ч						
	200	250	300	350	400	450	500
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 $Q_{TЛ}$, кДж/кг (ккал/кг)	245 (58,4)						
3.2. Тепло внешнего подогрева воздуха $Q_{TЛ}$, 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_D	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 (276)	362,0 (312)	397,7 (342)
3.6. Расход топлива V_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 $N_{ПЭН}$, 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 Э.П.Н. 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 Э.Т.Д. 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 ТГМ-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 $t_{тл}$, °С	← 10 →						
2. Температура холодного воздуха (среднегодовая) на входе в дутьевой вентилятор до врезки рециркуляции $t_{х.в}$, °С	← 10 →						
3. Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель $t'_{в.п}$, °С	14,5	14,0	13,5	13,5	16,0	15,5	15,5
4. Температура питательной воды $t_{п.в}$, °С	188	200	209	216	221	225	228
5. Температура уходящих газов $t_{ух}$, °С	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 α	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 $\eta_{к}^{бр}$, %	93,71	93,87	93,90	93,88	93,75	93,67	93,54

Показатель	Нагрузка котла, т/ч						
	200	250	300	350	400	450	500
	<p>Т а б л и ц а 4 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА Тип ТГМ-94</p> <p>Поправки и вспомогательные зависимости</p>						
<p>I. Поправки к q_2, %, на изменение:</p>							
I.1. Температуры холодного воздуха на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,050$	$\pm 0,049$	$\pm 0,048$	$\pm 0,047$	$\pm 0,047$	$\pm 0,046$	$\pm 0,045$
I.2. Температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,030$	$\pm 0,030$	$\pm 0,030$	$\pm 0,031$	$\pm 0,032$	$\pm 0,032$	$\pm 0,032$
I.3. Температуры питательной воды на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,040$	$\pm 0,046$	$\pm 0,053$	$\pm 0,059$	$\pm 0,065$	$\pm 0,072$	$\pm 0,078$
I.4. Коэффициента рециркуляции дымовых газов на $\pm 1\%$	$\pm 0,013$	$\pm 0,015$	$\pm 0,018$	$\pm 0,020$	$\pm 0,022$	$\pm 0,024$	$\pm 0,026$
I.5. Коэффициента избытка воздуха в режимном сечении на $\pm 0,01$	$\pm 0,030$	$\pm 0,032$	$\pm 0,035$	$\pm 0,037$	$\pm 0,039$	$\pm 0,041$	$\pm 0,043$
<p>2. Поправки к температуре уходящих газов, $^\circ\text{C}$, на изменение:</p>							
2.1. Температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,590$	$\pm 0,600$	$\pm 0,605$	$\pm 0,610$	$\pm 0,615$	$\pm 0,620$	$\pm 0,630$
2.2. Температуры питательной воды на $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,069$	$\pm 0,083$	$\pm 0,096$	$\pm 0,110$	$\pm 0,123$	$\pm 0,137$	$\pm 0,150$
2.3. Коэффициента рециркуляции дымовых газов на $\pm 1\%$	$\pm 0,22$	$\pm 0,27$	$\pm 0,32$	$\pm 0,36$	$\pm 0,41$	$\pm 0,46$	$\pm 0,50$
<p>3. Вспомогательные зависимости:</p>							
3.1. Физическое тепло топлива $Q_{ТЛ}$, кДж/м ³ (ккал/м ³)	15,5 (3,7)						
3.2. Тепло внешнего подогрева воздуха $Q_{ВН}$, кДж/м ³ (ккал/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 м ³ натурального топлива Q_p^r , кДж/м ³ (ккал/м ³)	35,66 (8518)	35,66 (8518)	35,65 (8518)	35,65 (8518)	35,69 (8524)	35,68 (8522)	35,68 (8522)
3.4. Коэффициент, учитывающий дополнительное тепло, внесенное в топку K_d	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,997
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 (279)	362,9 (312)	397,7 (342)
3.6. Расход топлива V_p , тыс.м ³ /ч, при нормальных условиях	18	22,3	26,5	30,8	35,1	39,1	42,9
3.7. Потери тепла с непрерывной продувкой $Q_{прод}$, 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)
3.8. Мощность приводов РВП-54, кВт	21						
3.9. Мощность, потребляемая дутьевыми вентиляторами $N_{дв}$, кВт (I скорость/II скорость)	305	320	355	400 700	475 730	775	840
3.10. Мощность, потребляемая дымососами N_d , кВт	660	690	720	740	790	860	960
3.11. Мощность, потребляемая дымососами рециркуляции $N_{дрг}$, 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/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)
3.15. Удельный расход электроэнергии на тягу и дутье $\mathcal{E}_{т.д}$, МДж/МВт (кВт·ч/Гкал)	26,99 (8,72)	21,92 (7,08)	18,76 (6,06)	16,56 (5,35)	15,57 (5,03)		
				20,30 (6,56)	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 ТТМ-01	
	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 ²)	15,2 (155)	15,2 (155)	15,2 (155)	15,2 (155)	
3. Давление перегретого пара $P_{пе}$, МПа (кгс/см ²)	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 ²)	2,99 (30,5)	2,99 (30,5)	3,10 (32,5)	3,10 (32,5)	
7. Давление пара после промперегрева $P''_{пп}$, МПа (кгс/см ²)	2,78 (28,3)	2,78 (28,3)	2,78 (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 $t_{к.ф}$, °С	70	-	-	-	
13. Коэффициент рециркуляции дымовых газов γ , %	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	130	
17. Потери тепла с уходящими газами q_2 , %	7,94	6,11	6,88	5,00	
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** $\eta_{к прив}^{бр}$, %	92,58	94,44			

* Согласно Эксплуатационному циркуляру № Т-4/71. По вопросу снижения температуры перегретого пара энергоустановок (М.: СИНТИ ОИГЭС, 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. 1 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА
Основные показатели Тип ТГМ-94

Условия построения характеристики

Топливо мазут				$l_{об}$ с	$l_{об}$ °C	$l_{прв}$ с
Марка	$Q_{н$ МДж/кг	A^p %	W^p %	228	10	70
И юо	9200	0,4	50			

поправки к Q_2 , %

на $\pm 1\% W^p$	на $\pm 1\% l_{об}$	на $\pm 1\% l_{прв}$	на $\pm 1\% l_{об}$	на $\pm 1\% W^p$	на $\pm 0,01 d$
$\pm 0,015$	$\pm 0,00004$	$\pm 0,045$	$\pm 0,035$	$\pm 0,000$	$\pm 0,025$

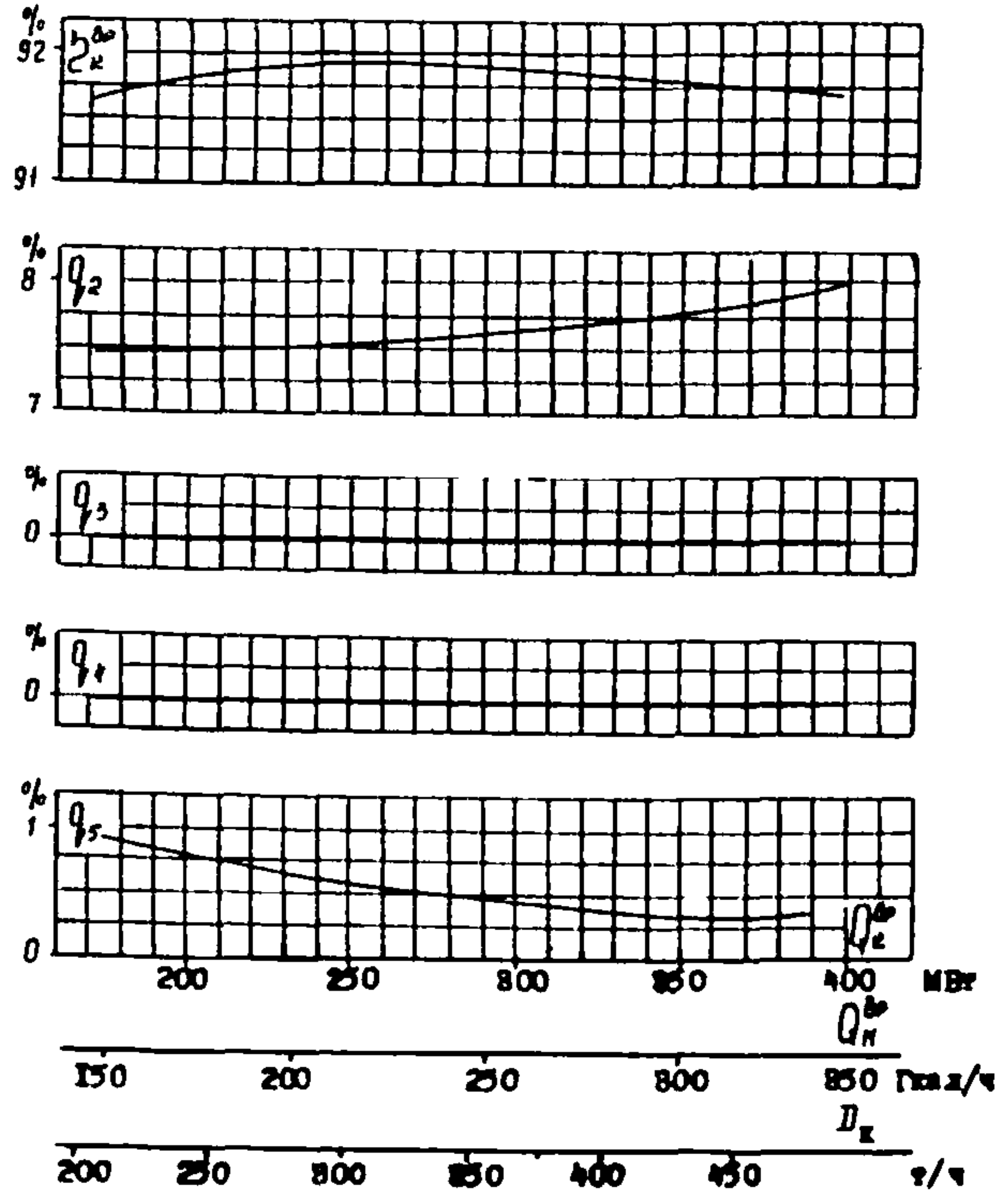


Рис. 2 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА
Основные показатели Тип ТГМ-94

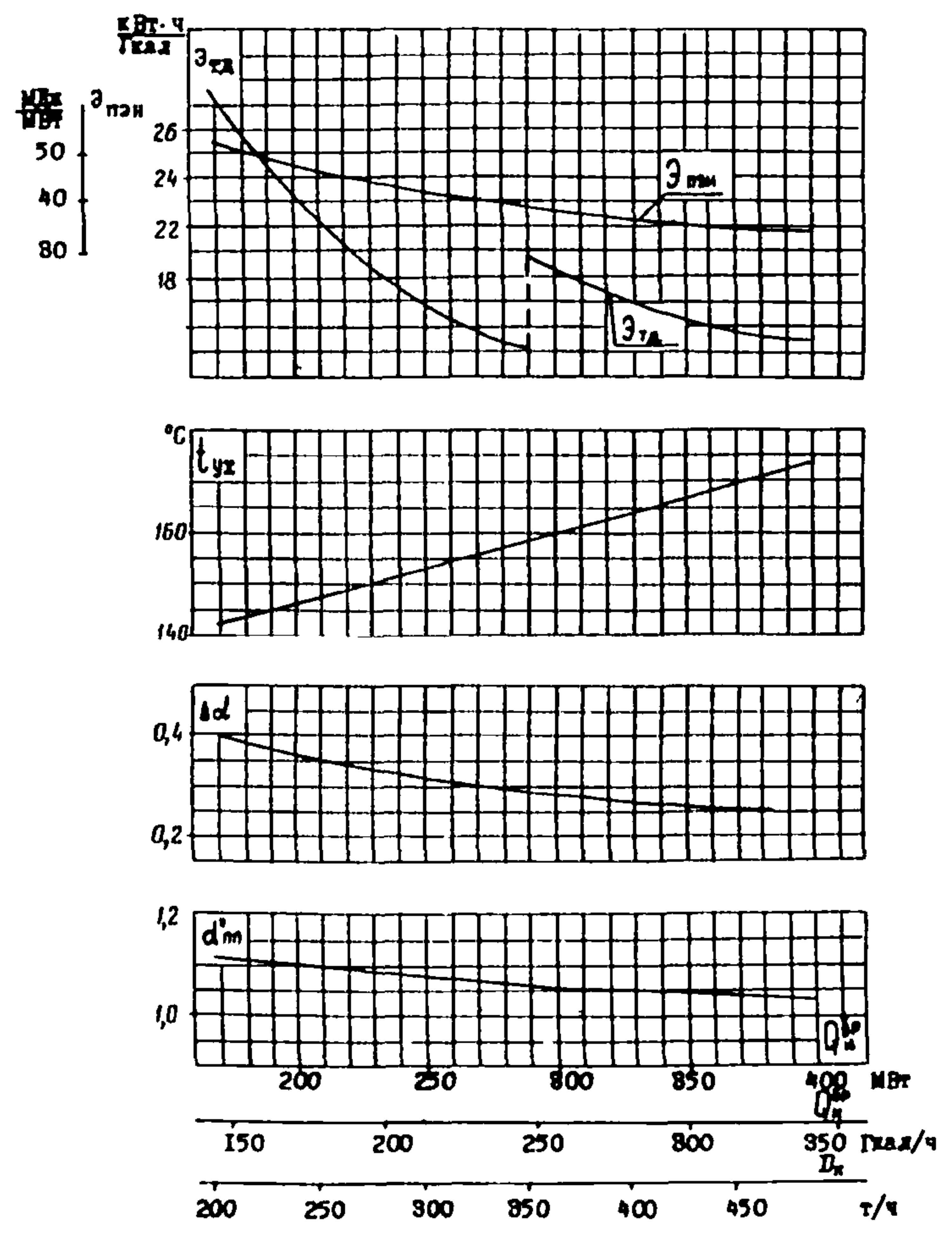
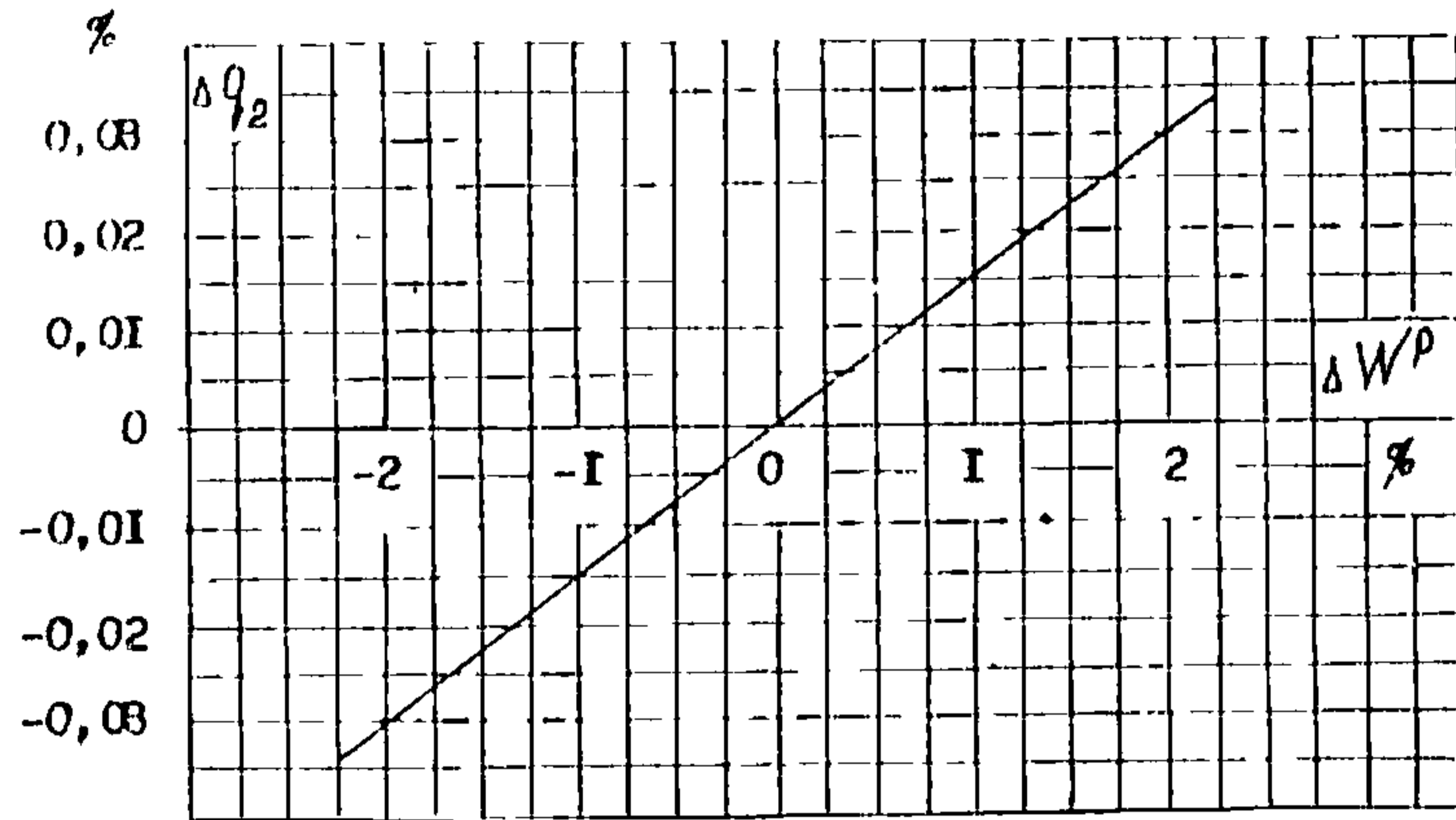


Рис. 5 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА
 Поправки к q_2
 Тип ТМ-94

на изменение содержания влаги в топливе



на изменение температуры топлива

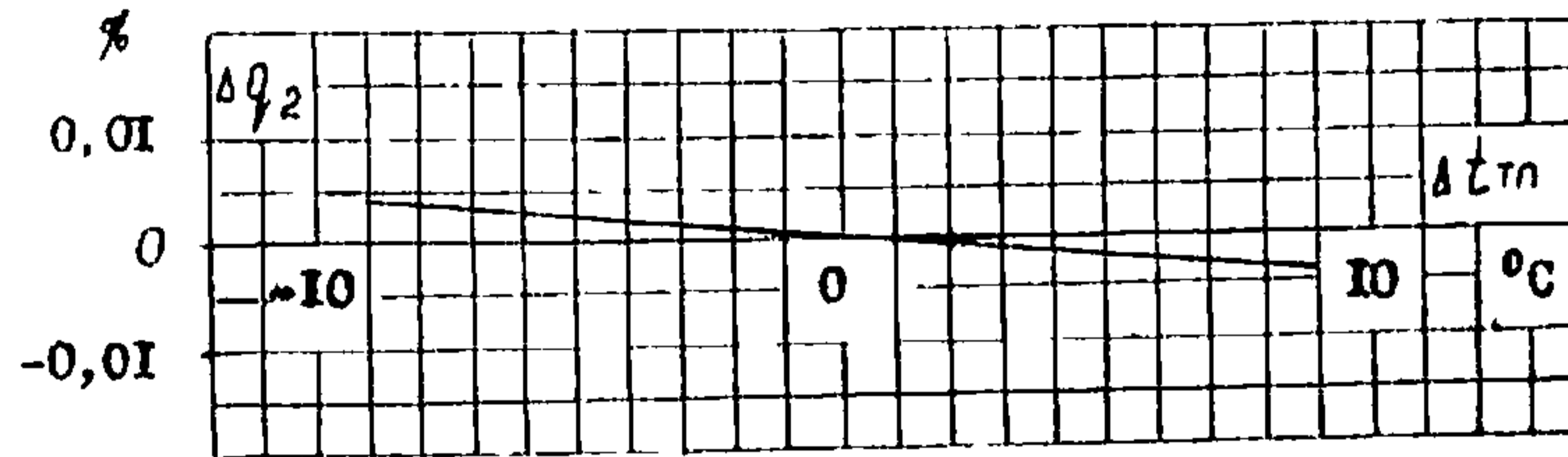
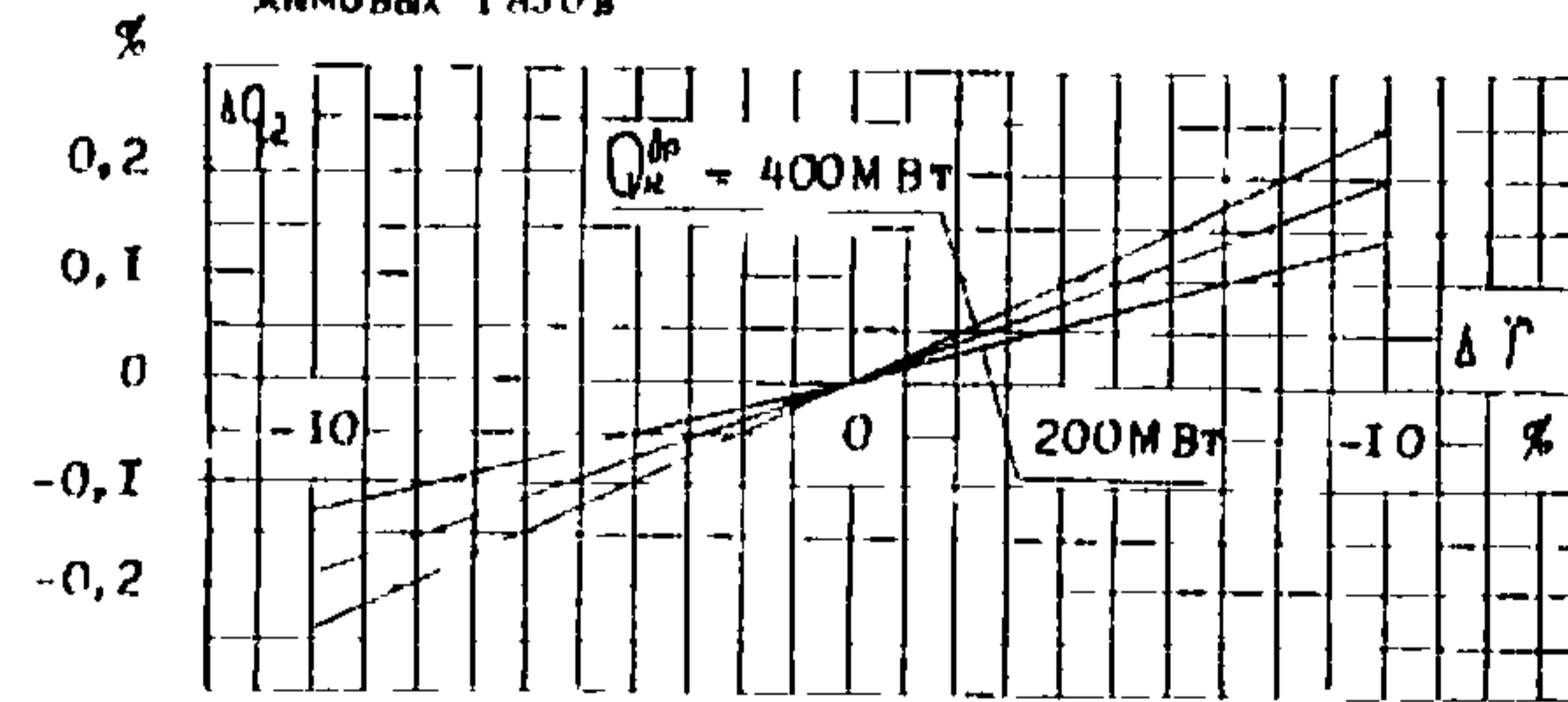
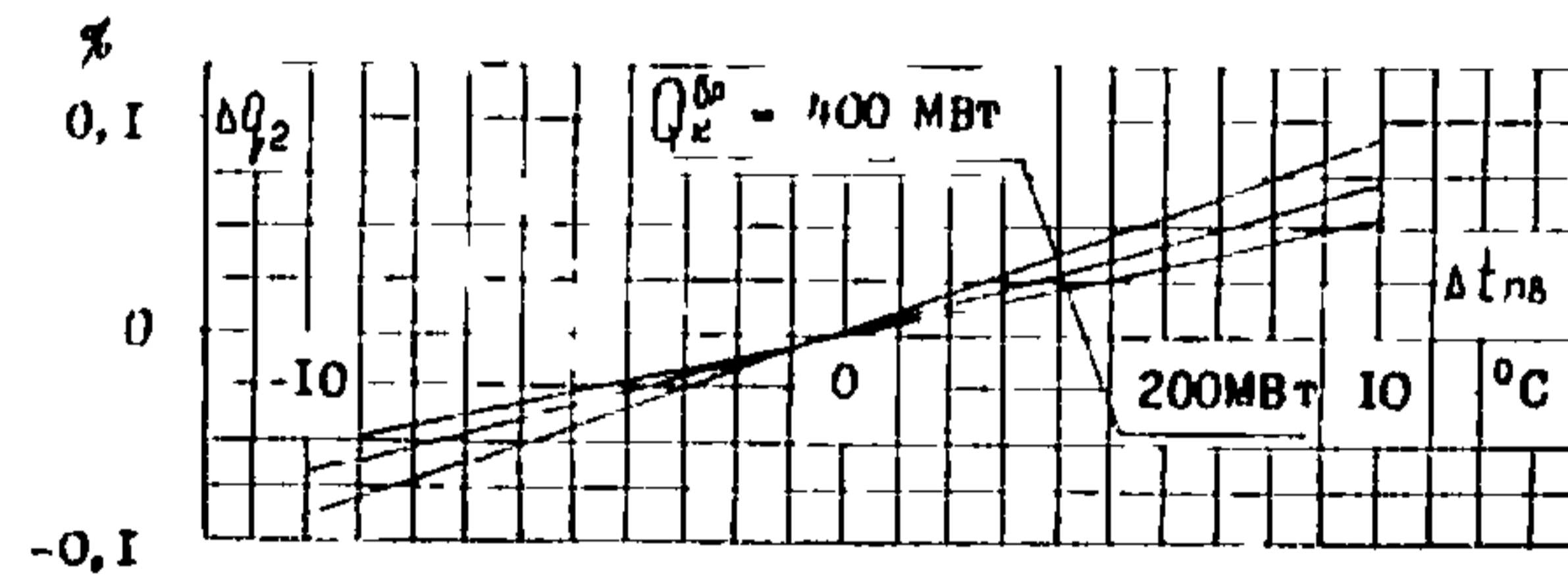


Рис. 6 ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА
 Поправки к q_2
 Тип ТМ-94

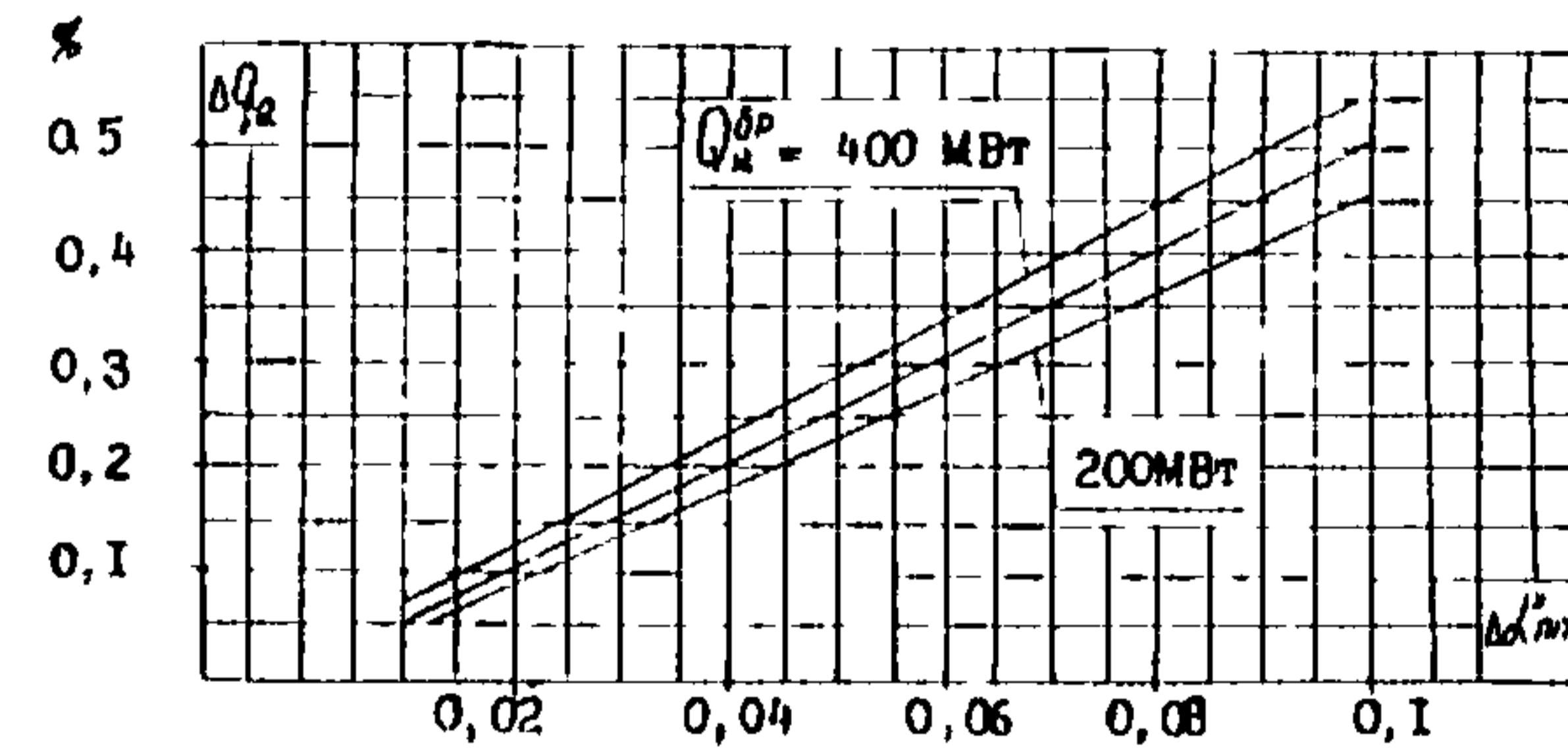
на изменение коэффициента рециркуляции дымовых газов

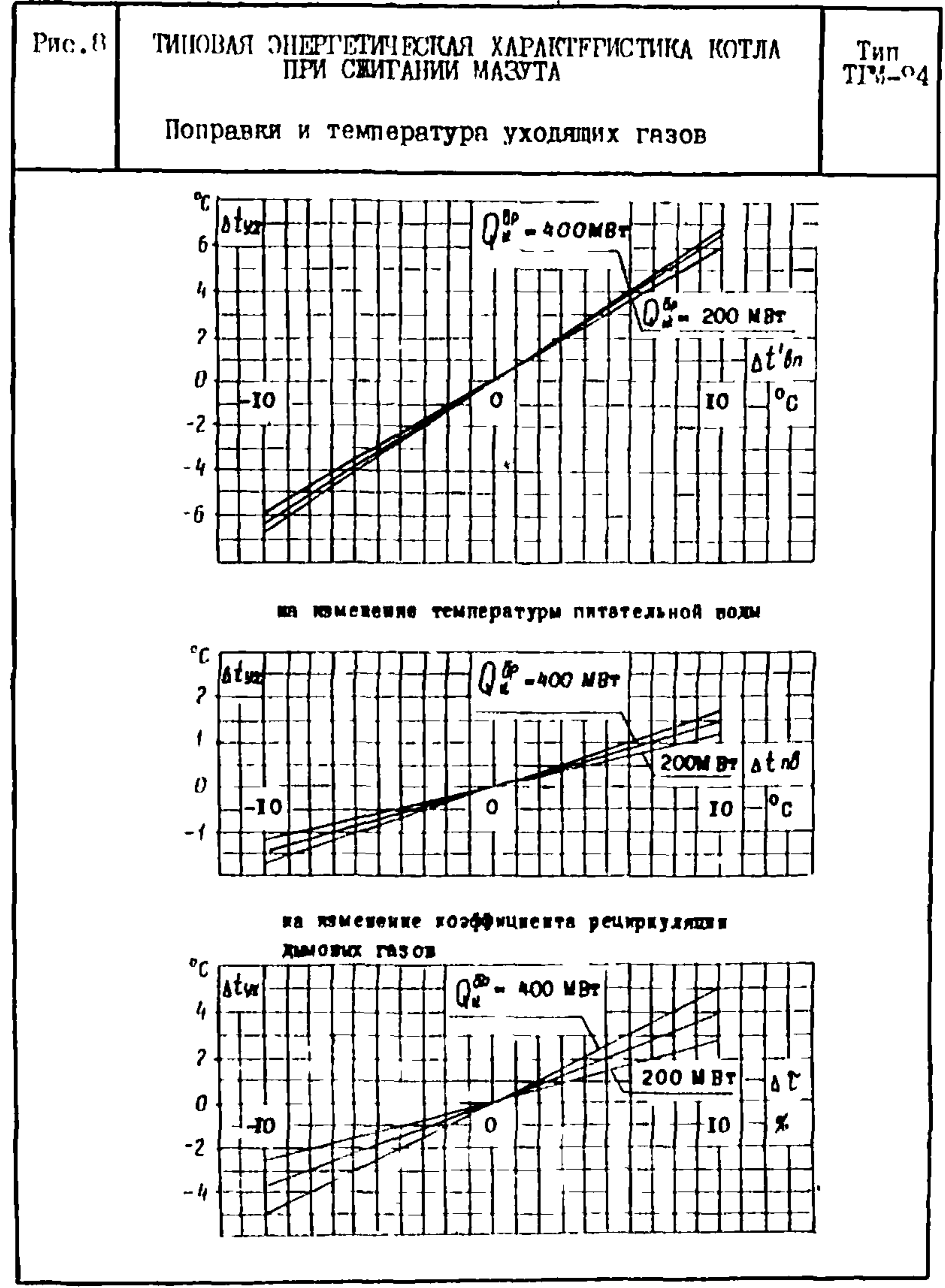
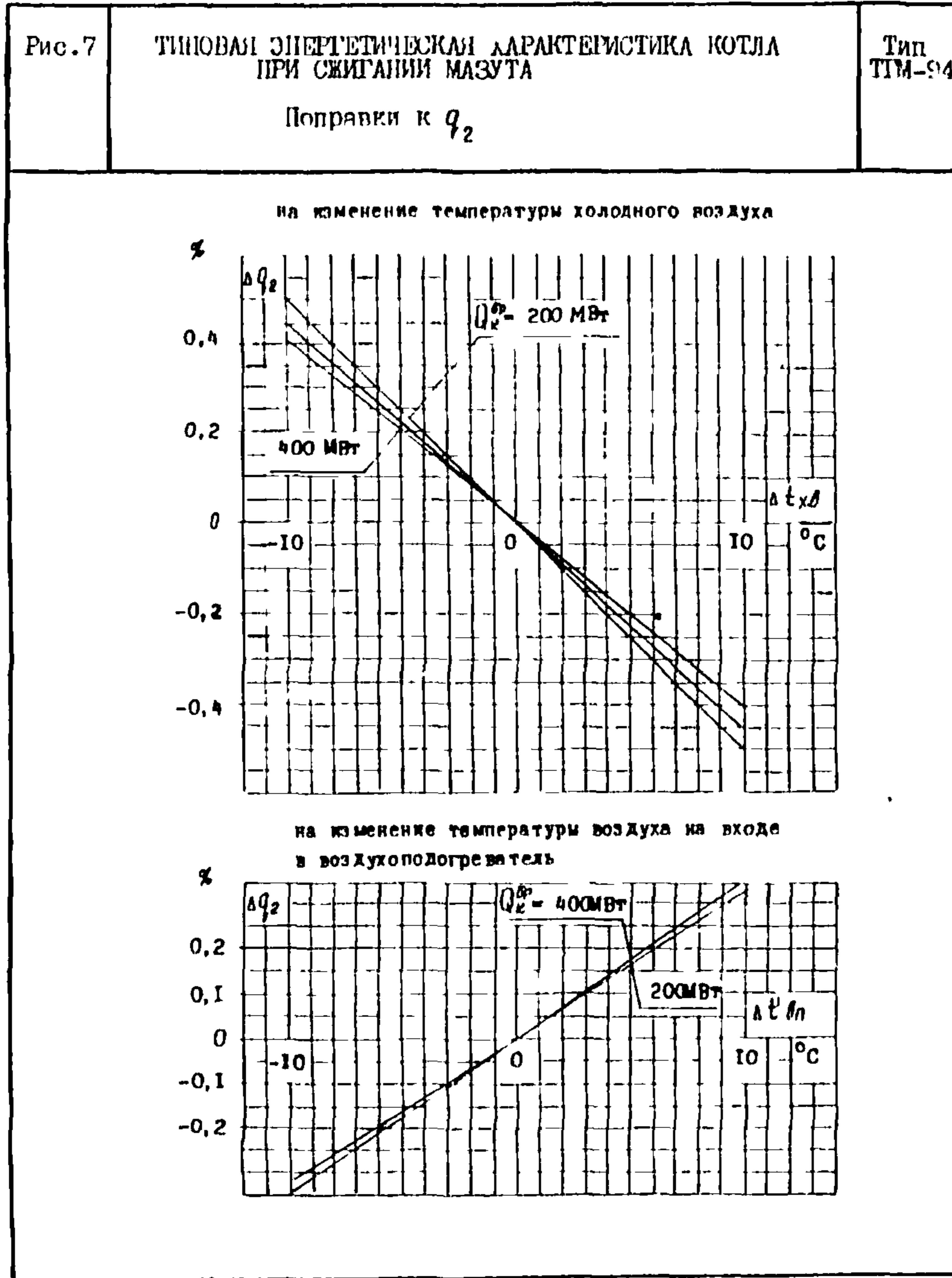


на изменение температуры питательной воды



на изменение коэффициента избытка воздуха





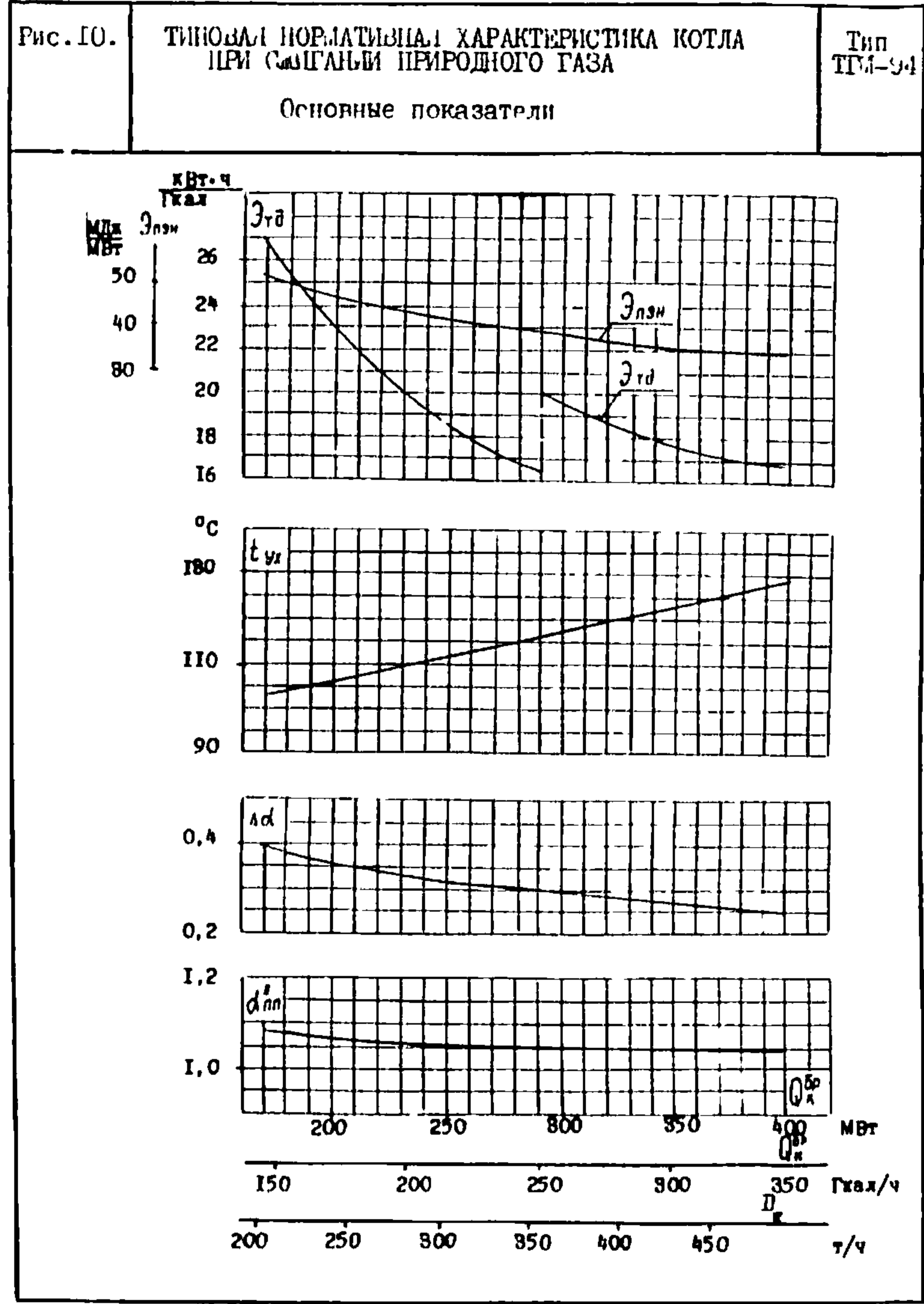
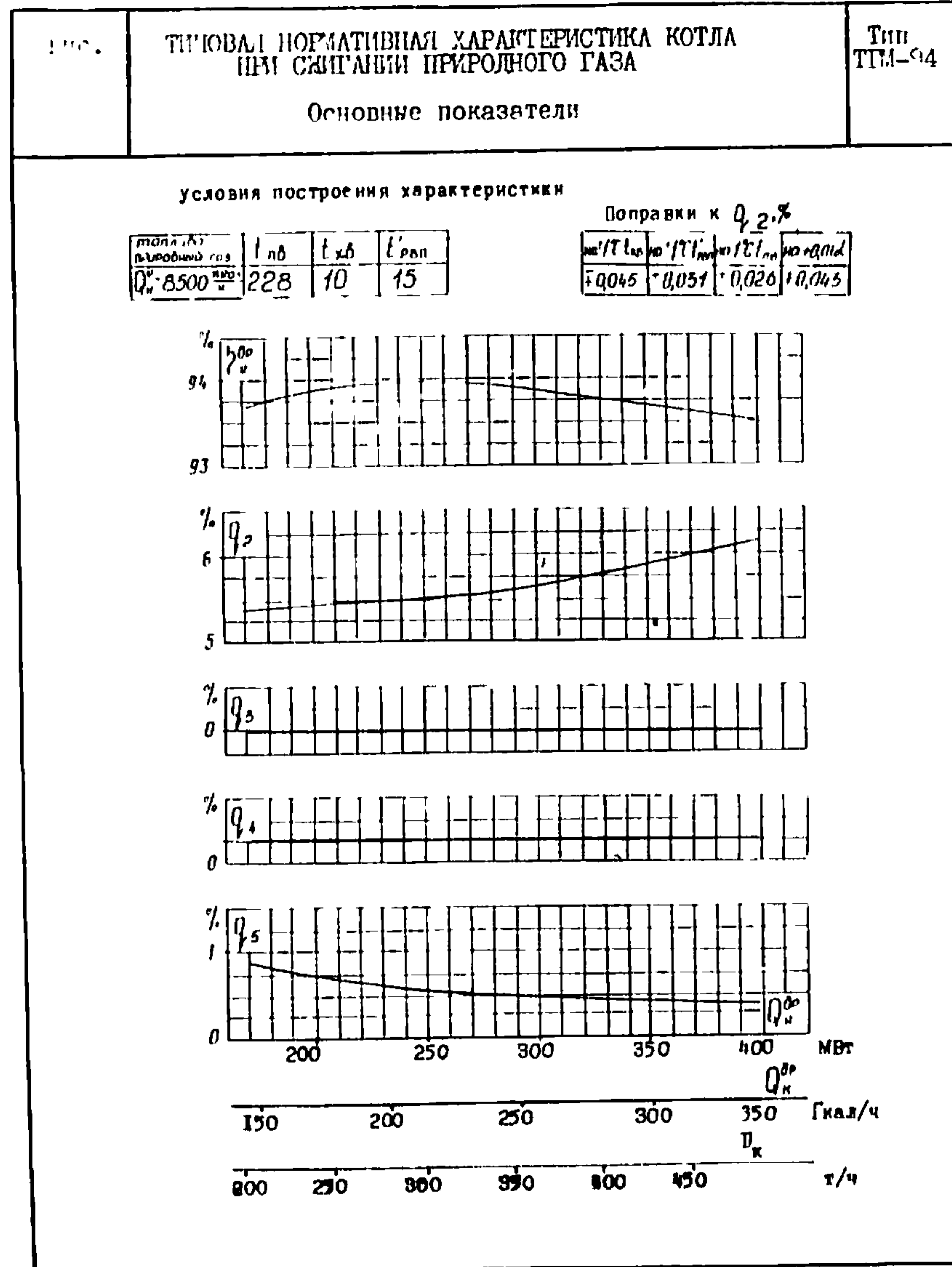
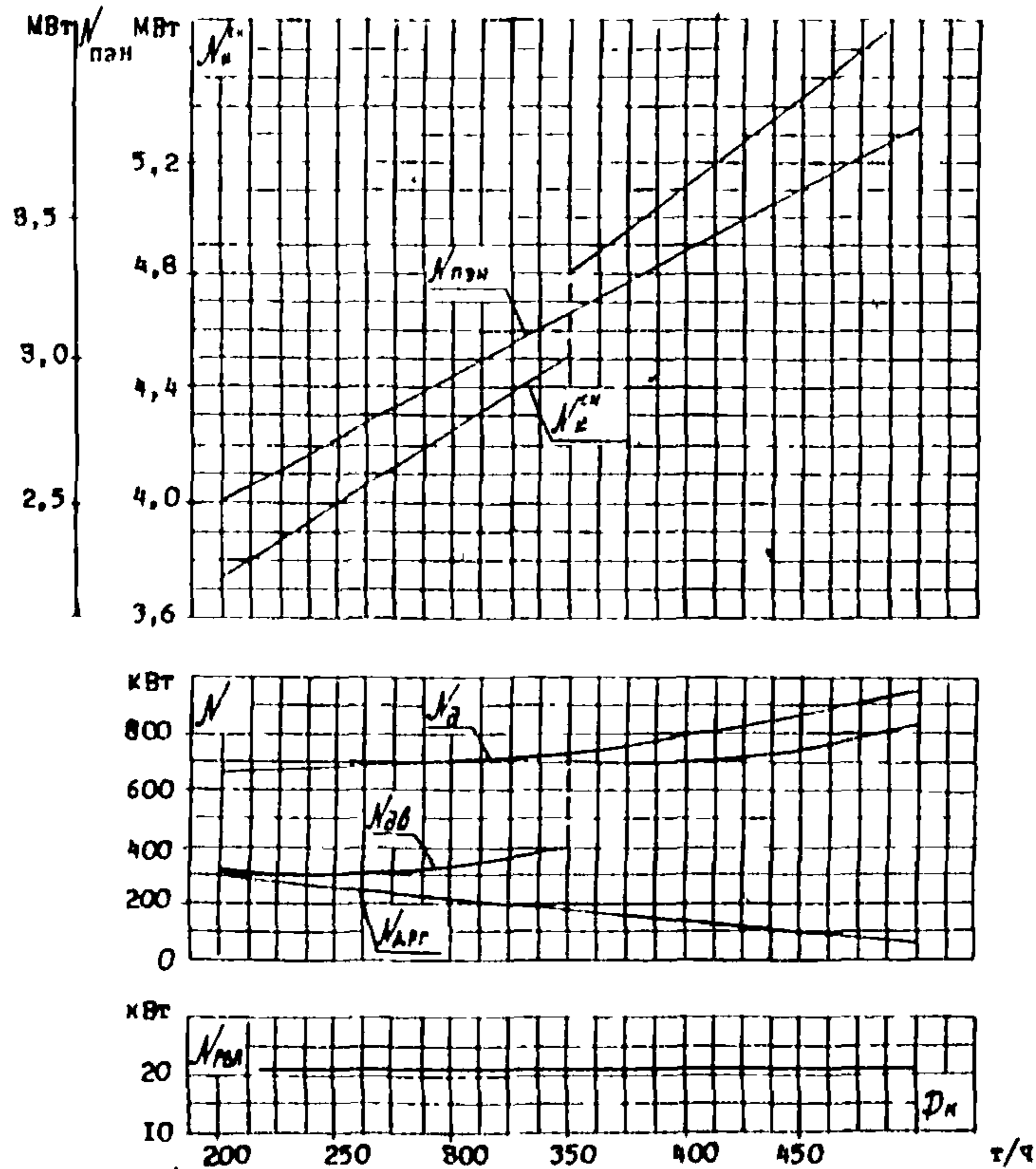


Рис. I1. ТИПОВАЯ НОРМАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА
Мощности приводов механизмов котельной установки
Тип ТТМ-94



$N_{дв}$ - мощность, затрачиваемая дымососами рециркуляции газов;
 $N_{кв}$ - мощность, приводов воздухоподогревателей;
 $N_{кв}'$ - мощность, затрачиваемая питательным электронасосом

Рис. I2. ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА
Поправки к Q_2
Тип ТТМ-94

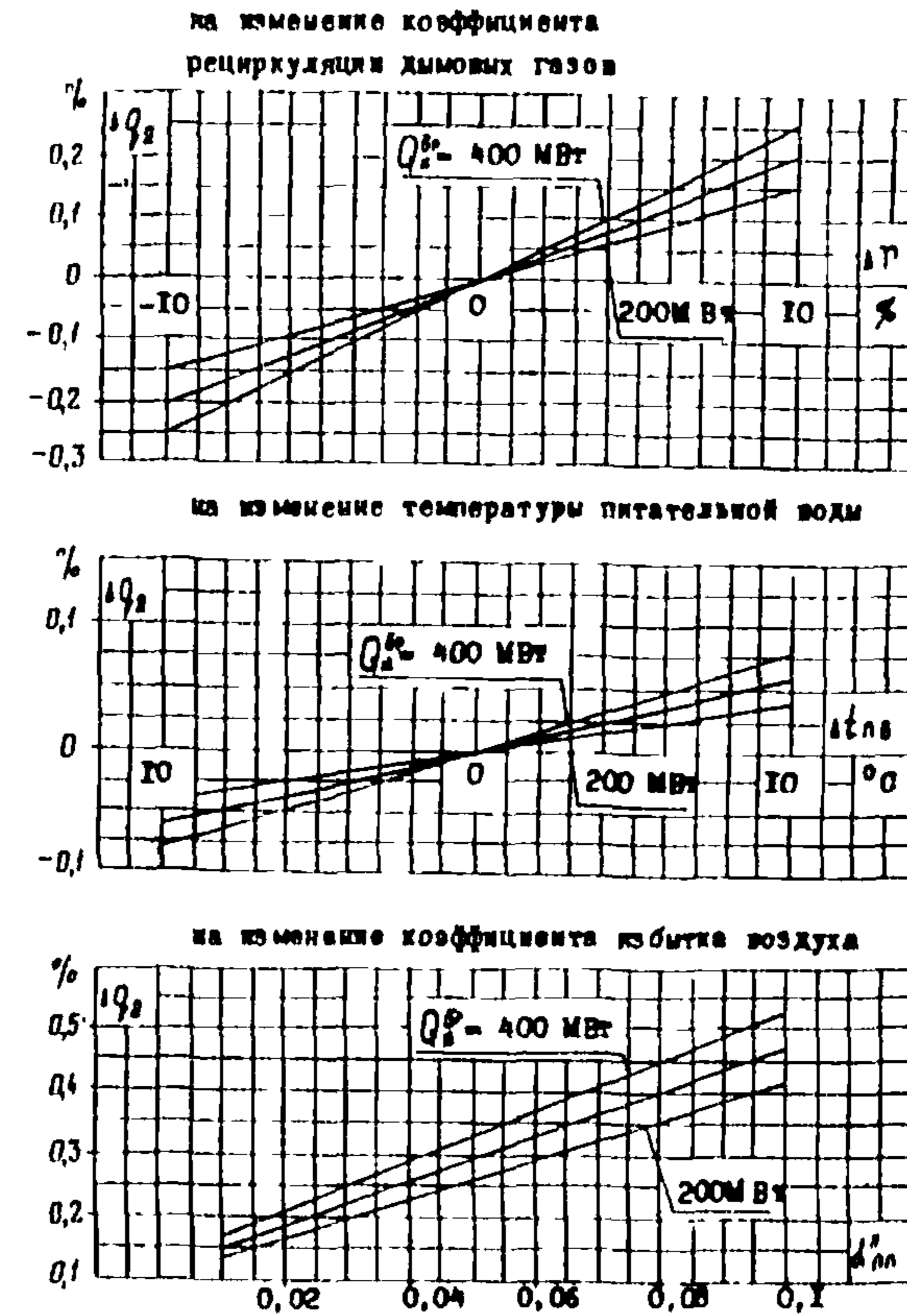


Рис. 13. ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА
 Поправка к q_2 Тип ТГМ-94

на изменение температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель

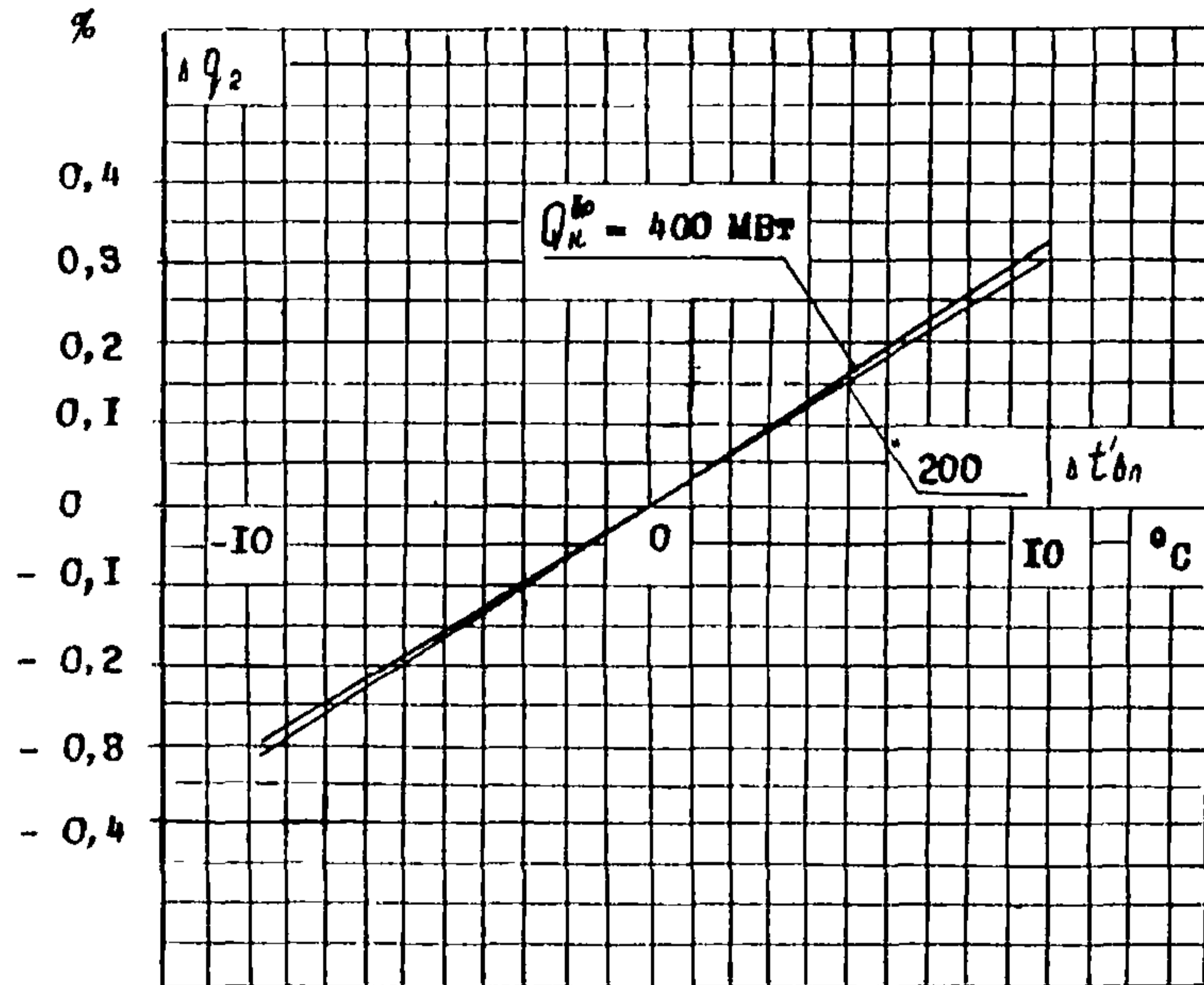
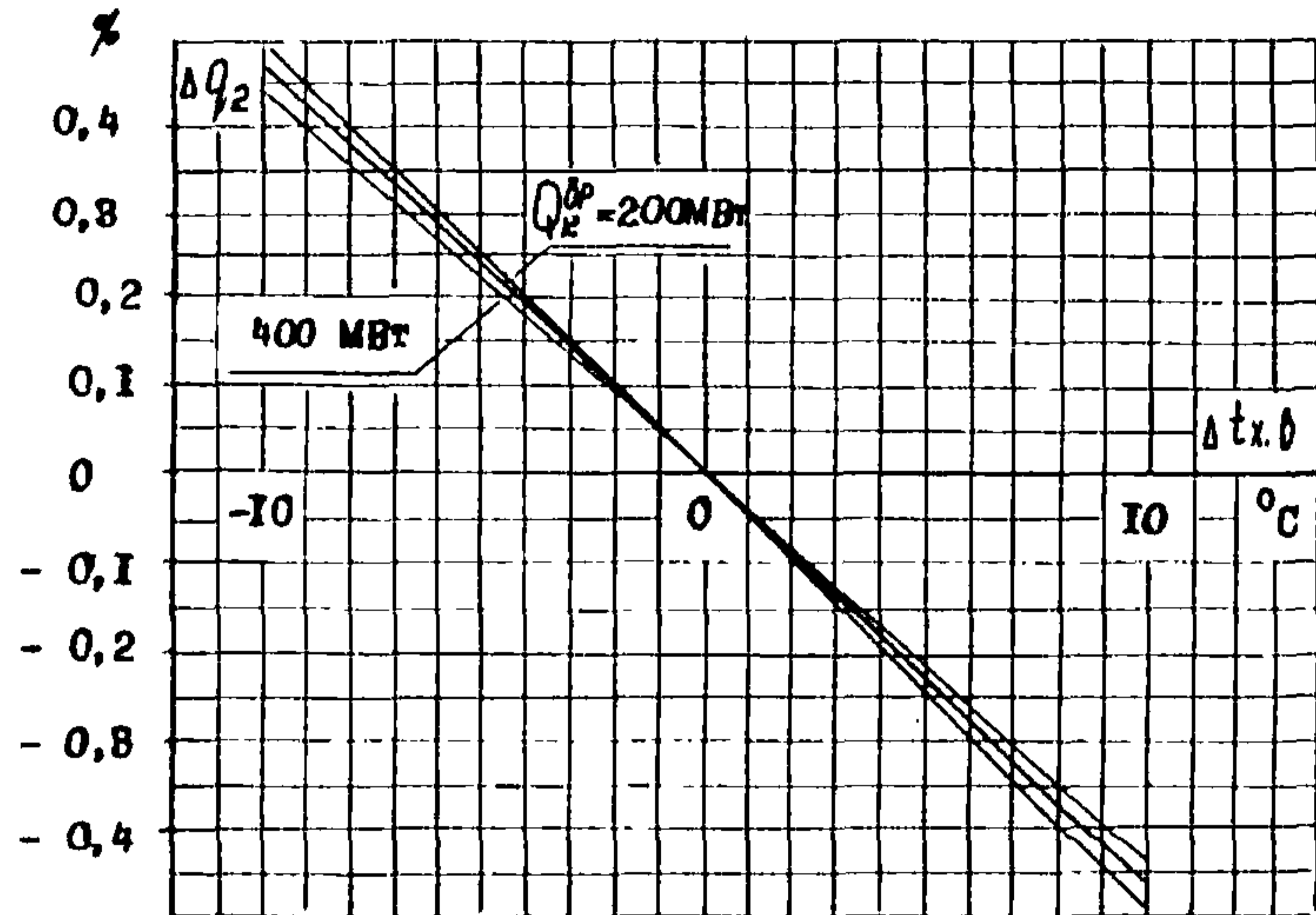
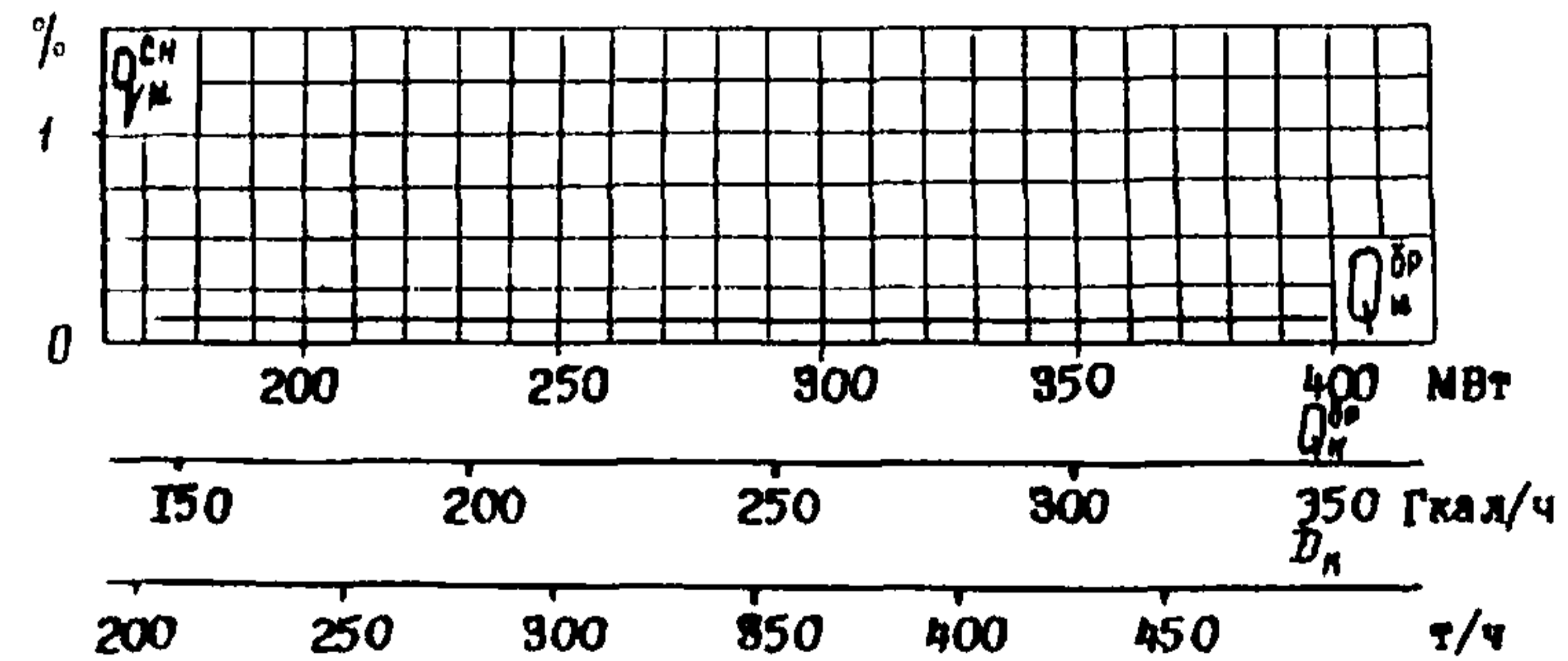


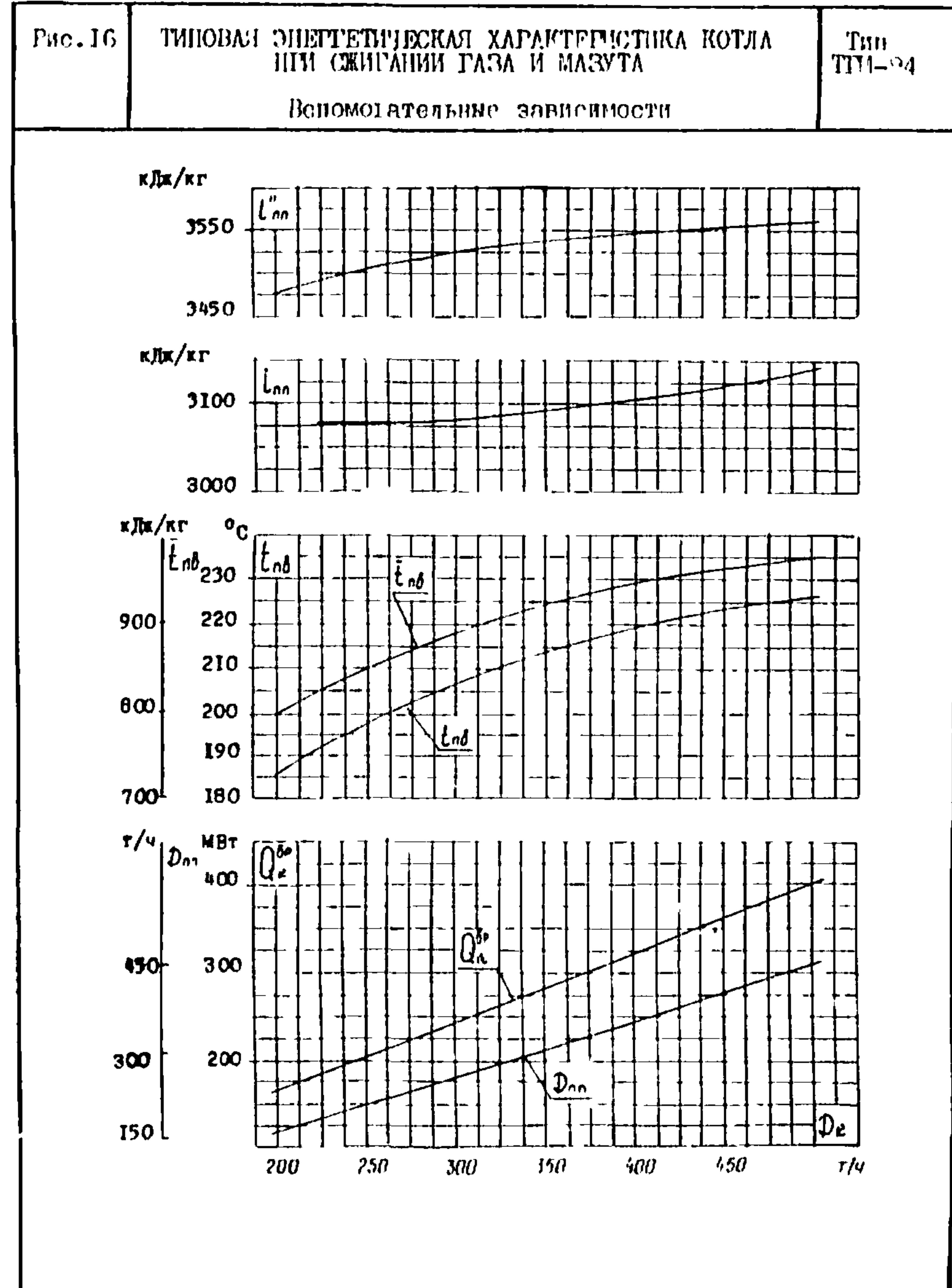
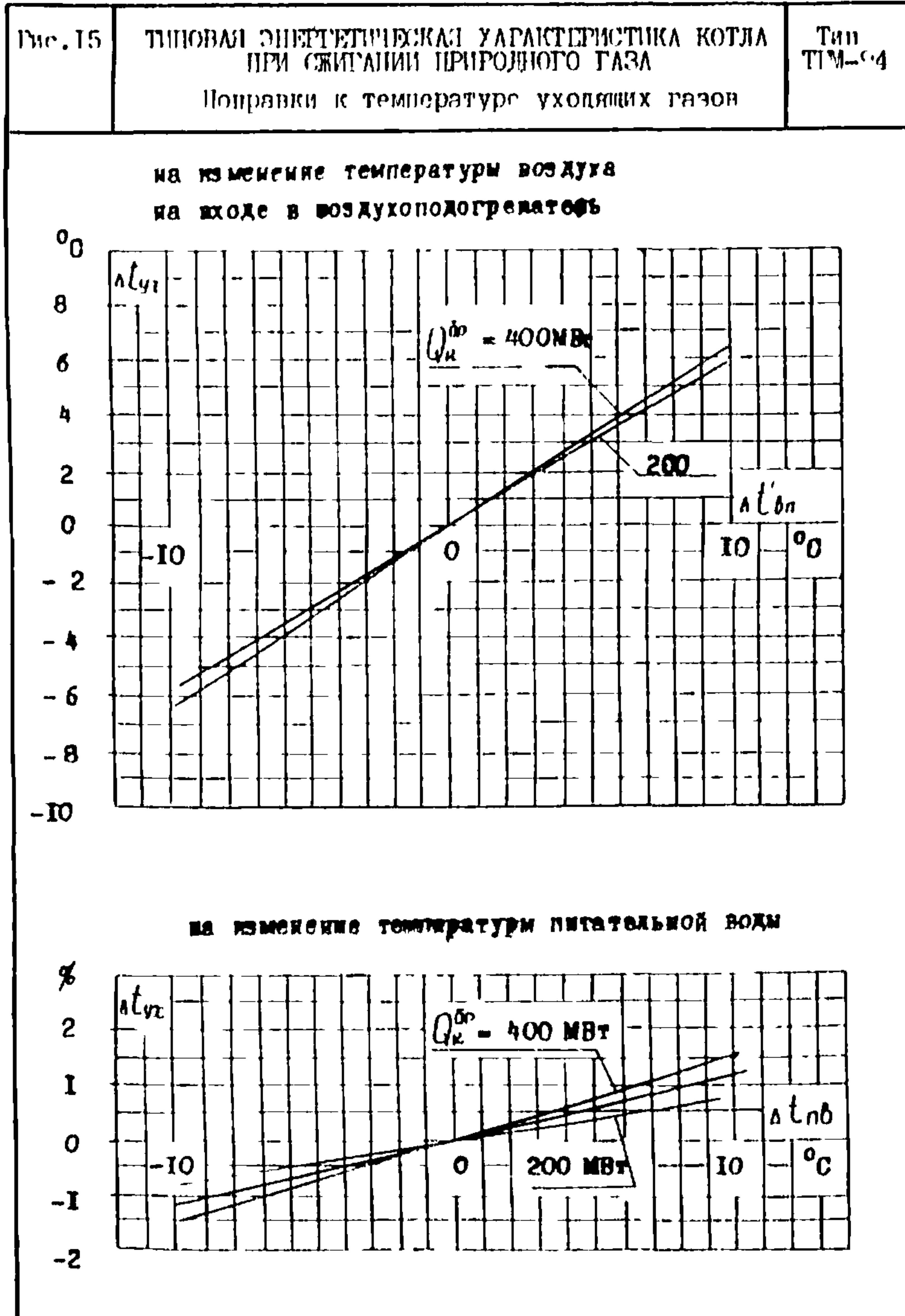
Рис. 14. ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА
 Поправка к q_2 , удельный расход тепла Тип ТГМ-94

на изменение температуры холодного воздуха



удельные расходы тепла на собственные нужды





1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1.1. 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.

1.2. 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 м³/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 м³/ч.

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

1.4. Температура перегретого пара регулируется впрысками, а пара промперегрева - рециркуляцией дымовых газов.

1.5. Дымовые газы на рециркуляцию отбираются из газохода 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.

1.6. Большинство котлов укомплектовано:

- двумя лутьевыми вентиляторами двустороннего всасывания ВЛВ-24x2. Производительность одного вентилятора 318,5·10³ м³/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 700·10³ м³/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 85·10³ м³/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.

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

1.8. 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: $A^P = 0,14\%$, $W^P = - 3,0\%$, $S^P = 3,4\%$, $U_H^P = 38520$ кДж/кг (9200 ккал/кг); природный газ с низкой теплотой сгорания $35,59$ МДж/м³ (8500 ккал/м³).

2.2.2. Температура мазута перед форсунками принята 120°C ($t_{г,д} = 120^\circ\text{C}$), 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°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°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 ХТГЗ" (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 промперегрета 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, %

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

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):

$$\eta_k^{бр} = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5$$

где для мазута

$$q_2 = (3,5\alpha_{yx} + 0,45) \left(t_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + 0,13} t_{x,б} \right) (0,9805 + 0,00013 t_{yx}) K_a 10^{-2};$$

для газа

$$q_2 = (3,53\alpha_{yx} + 0,6) \left(t_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + 0,18} t_{x,б} \right) (0,9805 + 0,00013 t_{yx}) K_a 10^{-2};$$

где

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

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.: СЦТИ ОРГРЭС, 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

$$q_5 = q_5^{граф} \frac{D_{ном}}{D_{факт}} \frac{Q_H^p}{Q_p^p}$$

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, КПД 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.: СЦТИ ОРГРЭС, 1974);

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

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

Расход тепла с продувкой котла подсчитывается по формуле

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

где

$$G_{прод} = 1\% \text{ производительность котла};$$

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

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

Расход тепла на продувку форсунок подсчитывается по формуле

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

где

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

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

$$n_{ф} = 28 \text{ - количество форсунок};$$

$$i = 700 \text{ ккал/кг - энтальпия сбросного пара.}$$

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 воздухоподогревателя для подачи дробы из-за отсутствия данных. В настоящее время на котлах применяется также термоволокнистая 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 НОРМАТИВНЫМ 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 влажности мазута

$$\Delta q_2 = 0,015 (W^p - 3).$$

3.1.2. На изменение температуры мазута

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

3.1.3. На изменение температуры холодного воздуха: при сжигании мазута

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

при сжигании природного газа

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

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):

$$\Delta t_{yx} = (0,512 + 0,42 \cdot 10^{-3} Q_K^{бр}) (t_{рвп}' - 70);$$

$$\Delta q_2 = (0,032 + 5 \cdot 10^{-6} Q_K^{бр}) (t_{рвп}' - 70);$$

* Значения $Q_K^{бр}$ в формулах для определения поправок даны в мегаваттах.

при сжигании природного газа:

$$\Delta t_{yx} = (0,565 + 0,157 \cdot 10^{-3} Q_K^{бр}) (t_{рвп}' - t_{рвп}^{норм});$$

$$\Delta q_2 = (0,028 + 11,0 \cdot 10^{-6} Q_K^{бр}) (t_{рвп}' - t_{рвп}^{норм}).$$

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

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

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

при сжигании природного газа:

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

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

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

при сжигании мазута:

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

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

при сжигании природного газа:

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

$$\Delta q_2 = (0,0012 + 16,5 \cdot 10^{-6} Q_K^{бр}) (t_{п.в}' - t_{п.в}^{норм}).$$

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

при сжигании мазута

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

при сжигании природного газа

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

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 205 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 значения 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 Δq_2	Δt_{yx}	по формулам Δq_2 Δt_{yx}	
$\Delta t_{x.б} = 20 - 10 = 10^\circ\text{C}$	-0,47	-	-0,473	-
$\Delta t'_{рвп} = 210 - 216 = -6^\circ\text{C}$	-0,035	-0,7	-0,035	-0,658
$\Delta t_{р.б} = 24 - 13,5 = 10,5^\circ\text{C}$	+0,31	+6,3	+0,318	+6,31
$\Delta r = 9 - 7 = +2\%$	+0,004	+0,8	+0,039	+0,724
<hr/>				
И т о г о ...	-0,155	+6,4	-0,151	

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

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

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