

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. С.ТОРАЙГЫРОВА



2'2003

НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА



КАЗАХСТАН
ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

МАЗМҰНЫ

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ

Б.Т. Абдрахманов, В.Н. Фандюшин
Сандар теориясындағы кейбір есептерді шешуде
ЭЕМ-ды қолдану 7

**А.Ж. Әбдідаева, Ш.Б. Қасенова, Ж.К. Тұхметова,
С.М. Әдекенов, Б.К. Қасинов, Н.А. Талжанов**
96%-тік этанолда аустрициннің инталциялық еруінің
термохимиялық зерттелуі 10

Л.К. Биболова
Тікелей және тізбектелген файлдарды ұйымдастыру
және қолдану 13

**Е.А. Бектұров, Н.Г. Бельникевич,
Т.В. Будтова, Н.Э. Сүлейменов, Т.А. Тимофеева**
Полиэлектрлітті гидрөгелдердің көп сыңарлы
ергінділермен өзара әрекеттерінің кинетикалық
ерекшеліктері 20

Л.К. Биболова
Паскалдағы графикалық режим 28

**В.М. Глазов, В.П. Малышев, Т. Сүлейменов,
К.С. Какенов, Н.С. Бектурганов**
Жұқа құрылымның тұрақтысы және оның жай
металлдық балқымаларда таралатын серпінді толқын
жылдамдығымен байланысы 33

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Нухулы А., д.х.н., проф. (*главный редактор*)
 Утегулов Б.Б., д.т.н., проф. (*зам. гл. редактора*)
 Ельмуратова А.Ф., к.т.н., доц. (*отв. секретарь*)
 Члены редакционной коллегии:
 Бойко Ф.К., д.т.н., проф.
 Газалиев А.М., д.х.н., проф., член-корр. НАН РК
 Гамарник Г.Н., д.т.н., проф.
 Глазырин А.И., д.г.н., проф.
 Даукеев Г.Ж., к.т.н., проф.
 Ергожин Е.Е., д.х.н., проф., академик НАН РК
 Кислов А.П., к.т.н., доц.
 Клецель М.Я., д.г.н., проф.
 Кудерин М.К., к.т.н., доц.
 Мансуров З.А., д.х.н., проф.
 Мурзагулова К.Б., д.х.н., проф.
 Пивень Г.Г., д.т.н., проф.
 Сагинов А.С., д.т.н., проф., академик НАН РК
 Сулеев Д.К., к.т.н., проф.
 Сейтахметова Г.Н. (*тел. редактор*)

Адрес редакции:
 637034, г. Павлодар,
 ул. Ломоноса, 64
 Тел.: (3182) 45-11-43
 (3182) 45-38-60
 Факс: (3182) 45-11-23
 E-mail: publish@psu.kz
 nauka@psu.kz

С. Торайғыров атындағы ПМУ-дің
ғылымдар факультетіндегі
ғылымдар факультетіндегі ғылым
кітапханасы

Подписано в печать 09.02.2003 г.
Формат 297×420/2. Бумага книжно-журнальная.
Объем 6,0 уч.-изд. л. Тираж 300 экз.
Заказ № 0372.

Научный издательский центр
Павлодарского государственного университета
им. С. Торайгырова
637034, г. Павлодар, ул. Ломова 64.

УДК 621.182.23.001.42

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ КОТЛОВ ТГМ-94 НЕВИННОМЫССКОЙ ГРЭС

К.Т.Баубеков

Павлодарский государственный университет

им. С. Торайгырова

Эксперименттік зерттеулердің нәтижесінде Невинномысск МАЭСның ТГМ-94 (ст.№ 8,10,11) қазаның тәртіптік және экологиялық көрсеткіштеріне газ бен мазутты бірге және жекеше сатылап жағуының әсері анықталды. ТГМ-94 қазандарының жаңартуы нәтижесі азот оксидтерінің терең азайуына және бенз(а)пирен мен күлдік концентрациясын аз-маз жоғарлауына алып келді. Өзіне қажетті электр энергияның шығыны және сору мен үрлуге арналған электр энергияның шығыны азайтылды.

В результате экспериментальных исследований выявлено влияние режимов совместного и раздельного ступенчатого сжигания газа и мазута (во всем интервале изменения нагрузки $D/Do=0,47-0,97$) на режимные и экологические показатели котлов ТГМ-94 (ст.№ 8,10,11) Невинномысской ГРЭС. Модернизация котлов ТГМ-94 привела к глубокому снижению образования оксидов азота и некоторому увеличению концентрации сажи и бенз(а)пирена. Снижены расход электроэнергии на собственные нужды и расход электроэнергии на тягу и дутьё.

In the result of the experimental researches there was found influence of regimes of joint and separate staged combustion of gas and oil (during all the interval of loading $D/Do=0,47 - 0,97$) of the boilers TGM-94 (st.No 8,10,11) of Nevinnomysk Electric Power Station. By modification of the boilers TGM-94 it lead to great reduce of the nitrogen oxide emission and to increase of concentration of soot and benz(a)piren. The expenditure of electrical energy by property needs and the expenditure of electrical energy by draught and flow air was reduced.

В данной статье приводятся краткие результаты ранее выполненных разработок, внедрении и промышленных исследований [1, 2, 3, 4]. Проск-

ты модернизации котлов Невинномысской ГРЭС были выполнены ХФЦКБэнерго. В первой серии (из 36) опытов до модернизации определены уровни концентрации оксидов азота в продуктах сгорания котлов ТГМ-94 (ст. № 6, 7, 9, 10, 11) и ТГМ-96 (ст. № 5), отличающихся количеством, компоновкой и производительностью горелок, при различных нагрузках, раздельном и совместном сжигании газа и мазута. На основании определения исходных экологических характеристик котла ТГМ-94 (ст. № 11), проведенных в разное время и при разном состоянии котельного агрегата, прослежена взаимосвязь выбросов двух групп вредных веществ, зависимости образования которых от коэффициента избытка воздуха и других режимных условий носят противоположно направленный характер. Установлено, что менее налаженным режимам горения соответствовали низкие уровни концентраций оксидов азота при полной нагрузке при сжигании газа ~ 280 мг/м³, мазута ~ 420 мг/м³, совместном сжигании газа и мазута ~ 350 мг/м³ и более высокие уровни концентрации сажи при сжигании газа $\sim 8,6$ мг/м³, мазута ~ 220 мг/м³, совместном сжигании газа и мазута (в соотношении 0,46: 0,54) ~ 350 мг/м³. После наладки режимов горения получены более высокие уровни оксидов азота при сжигании газа ~ 490 мг/м³, мазута ~ 534 мг/м³, совместном сжигании газа и мазута ~ 460 мг/м³ и более низкие уровни сажи при сжигании газа $\sim 2,7$ мг/м³, мазута $\sim 49,4$ мг/м³, совместном сжигании газа и мазута $\sim 15,9$ мг/м³ (см. таблицу).

Для выявления влияния ступенчатого сжигания газа и мазута при их раздельном и совместном сжигании на основные экологические и режимные показатели работы котлов были проведены 54 опыта на котле ТГМ-94 (ст. № 11), 23 опыта на котле (ст. № 10) и 16 опытов на котле (ст. № 8).

Способ сжигания топлива осуществляется следующим образом [2] (рис. 1). Через горелку 2 подают первичный воздух и часть топлива при коэффициенте избытка воздуха $\alpha < 1$, через горелку 3 подают вторичный воздух и оставшееся топливо от его общего количества, через щлицы 4 подают третичный воздух и часть его в количестве (4–7)% от общего расхода воздуха отводят и подают через щлицы 5 навстречу потоку, выходящему из горелки 2. При таком сжигании одновременно происходит снижение выхода и оксидов азота, и сажи и канцерогенных веществ.

Температуры металла конвективного и вторичного пароперегревателей определялись с помощью зачеканенных в обогреваемой зоне труб термопреобразователей типа ТХА и ТХК, подключенных к милливольтметру по месту. Температуры металла экранных труб и других поверхностей нагрева контролировались по приборам, установленным на БШУ [4].

Испытания в первой серии опытов проводились на котле ТГМ-94 (ст. № 11) при раздельном и совместном сжигании газа и мазута. При сжигании газа удавалось путем подачи третичного воздуха $\delta_3 = 0,15$ заполнить факелом весь объем топки. При визуальном наблюдении факел приобретал соломенный цвет, но химический недожог отсутствовал. Впрыски конденсата в пароперегреватели острого пара увеличились примерно на 0,8–1,0 кг/с. Несколько увеличилась температура пара промежуточного перегрева и температура металла КПП и ВПП (в пределах 5 К), что практически не может снизить надежность их работы. Подача вторичного и третичного воздуха не снижает надежности работы металла экранных труб. Таким образом, при организации ступенчатого сжигания газа не только поддерживалась нагрузка при меньших избытках воздуха, но и появлялся запас по дутью и некоторый запас по температуре острого и вторичного пара. Однако, как показали испытания, дальнейшее увеличение доли вторичного воздуха $\delta_2 > 0,15$ и третичного воздуха $\delta_3 > 0,15$ нецелесообразно из-за затягивания факела в зону ширм и далее в конвективную шахту.

При совместном сжигании газа и мазута через нижний ярус горелок подавался мазут, а через верхний – газ. При этом горение на нижнем ярусе ухудшалось (наблюдалось потемнение мазутного факела), однако на уровне верхних шлицев дополнительного третичного воздуха смесь газа и мазута сгорала в ярком светящемся факеле, что подтверждалось отсутствием химического недожога. При совместном сжигании двух топлив предельная величина доли вторичного и третичного воздуха составила примерно такую же величину, как и при сжигании газа. В этом режиме сохранялась надежность работы металла пароперегревателей. В некоторых змеевиках промперегревателя температура пара достигала величины 843 К, из чего следует, что при загрязнении топки потребуется включение впрысков в пароперегреватели промперегрева.

При сжигании мазута снижалась надежность работы металла радиационного пароперегревателя из-за повышения температуры металла в одной из экранных труб (713 К) и, кроме того, не поддерживалась на должном уровне температура пара промперегрева, несмотря на предусмотренное проектом увеличение поверхности нагрева ступеней ВПП в 1,5 раза. Для предотвращения этих явлений даже на номинальной нагрузке включались оба вентилятора рециркуляции газов. При этом полностью обеспечивалась надежность работы металла радиационного пароперегревателя, однако температура пара промперегрева оставалась на низком уровне (797 К). При сжигании мазута и подаче газов рециркуляции через

Краткие результаты испытания модернизированного котла ТГМ-94 (ст. № 11) при ступенчатом сжигании топлива и балластрировании толчки газами рециркуляции

Таблица

№ п/п	Основные режимные и экологические показатели	Вид сжигаемого топлива													
		Газ							Мазут						
		Номера опытов №№													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	Электрическая нагрузка эл. блока, $N_{эл}$, МВт	153	135	110	95	72	151	130	110,0	90,0	72,0	154,0	153,0	106,0	
2	Расход острого пара, $D_{ап}$, кг/с	135,1	120,0	94,5	72,3	65,6	134,8	119,5	110,0	80,6	66,7	136,5	135,0	90,6	
3	Давление острого пара, $P_{ап}$, МПа	13,05	13,28	13,25	12,84	12,64	13,18	13,23	12,35	13,03	12,54	13,03	12,94	12,74	
4	Температура острого пара, $T_{ап}$, К	81,5	81,4	81,4	81,4	81,3	81,3	81,3	81,4	81,3	81,4	81,9	81,4	81,3	
5	Температура в горичном пара, $T_{гп}$, К	820	802	815	819	807	797	791	796	788	777	826	818	805	
6	Температура питательной воды, $T_{пв}$, К	508	500	490	483	481	507	499	491	481	470	505	506	488	
7	Расход топлива: газа, B , кг/с мазута, B_m , кг/с	11,31	9,78	8,14	7,31	6,20	-	-	10,8	9,5	8,53	6,95	-	6,14	
8	Напор горячего воздуха, $P_{гв}$, Па	1780	1370	1050	1000	1000	1650	1120	1000	800	600	1800	1920	820	
9	Температура холодного воздуха, $T_{хв}$, К	301	316	318	317	313	343	350	347	346	344	305	309	308	
10	Температура уходящих газов, $T_{уг}$, К	413	413	416	422	412	435	434	439	425	423	443	444	445	
11	Количество работающих вентиляторов рециркуляции газов шт, Д, н, шт	-	-	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	
12	Номера работающих горелок по ярусам														
12.1	1 ярус	1,2,3	1,2,3	1,3	2	-	1,2,3	1,2,3	1,3	2	2	1,2,3	1,2,3	2	
12.2	2 ярус	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	
13	Потеря тепла с химнедожогом, Φ , %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	Напор газов рециркуляции, $P_{гв}$, Па	0	0	750	1100	1370	1600	900	1370	1450	1470	1220	520	1400	
15	Степень рециркуляции дымовых газов, %	0	0	6,0	12,6	15,4	8,0	13,2	15,3	18,8	22,0	4,5	5,0	13,0	
16	Доля нижнего встречного дополнительного воздуха, δ_2	0,11	0,11	0,09	0,07	0,07	0	0,15	0,07	0,04	0	0	0,11	0,10	
17	Доля верхнего дополнительного воздуха, δ_3	0,15	0,14	0,13	0,10	0,10	0,15	0,13	0,10	0,03	0,01	0,15	0,15	0,07	
18	Коэффициент избытка воздуха за паростерегревателем, $\alpha_{гв}$	1,05	1,08	1,07	1,12	1,23	1,09	1,08	1,12	1,22	1,31	1,065	1,08	1,16	
19	То же, определенный до модернизации котла, $\alpha_{гв}$	1,07	1,07	1,07	1,22	1,32	1,08	1,12	1,23	1,28	1,36	1,06	1,06	1,18	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	Концентрация оксидов азота, C_{NOx} , мг/м ³	200	270	130	100	80	300	267	276	250	241	250	254	250	214
21	То же, измеренная до модернизации котла, C_{NOx} , мг/м ³	486	490	490	430	372	534	520	500	470	439	461	461	439	445
22	Относительное снижение образования оксидов азота, % $\frac{C_{NOx} - C_{NOx_0}}{C_{NOx_0}} \cdot 100$	59	45	73	77	78	44	49	45	47	45	46	45	48	52
23	Концентрация бенз(а)пирена, $C_{БП}$, мкг/100 м ³	40,7	-	36,4	-	28,6	18,2	-	108,8	-	86,1	144,5	103,2	104,5	88,9
24	То же, измеренная до модернизации котла, $C_{БП}$, мкг/100 м ³	21,0	-	28,6	-	34,3	13,0	-	14,4	-	10,3	27,6	27,6	13,8	47,2
25	Концентрация сажи, C_C , мг/м ³	4,9	-	5,8	-	6,8	108,9	-	29,9	-	62,2	15,5	29,5	1,6	8
26	То же, измеренная до модернизации котла, C_C , мг/м ³	2,7	-	7,2	-	26,7	49,4	-	46,4	-	44,1	15,9	15,9	28,4	12,7

встречные шлицы предельная величина третичного воздуха составила такую же величину, как и при сжигании газа и смеси двух топлив, но предельная величина вторичного воздуха уменьшилась за счет появления напора газов рециркуляции в коробе встречных шлиц и ориентировочно δ_2 составила величину 0,04. При визуальном наблюдении за режимом горения в нижней части топki наблюдалось заметное потемнение мазутного факела, что говорит о недостатке воздуха в этой зоне, однако на уровне подачи третичного воздуха горение улучшалось, и продукты недожога сгорали в ярком светящемся факеле.

Краткие результаты испытаний котла ст.№ 11 при ступенчатом сжигании топлива и балластировании топki газами рециркуляции во всем интервале рабочих нагрузок приведены в таблице. Как показали экспериментальные исследования модернизация котла привела к глубокому снижению концентрации оксидов азота (рис.2). Остаточные уровни концентрации NO_x замеренные за пароперегревателями составили (см. таблицу): при сжигании газа ($D/D_0 = 0,97-0,47$) – (200–80) мг/м, при сжигании мазута ($D/D_0 = 0,97-0,48$) – (300–241) мг/м³, при совместном сжигании газа и мазута ($D/D_0 = 0,97-0,5$) – (250–220) мг/м. Из таблицы следует, что концентрации сажи и бенз(а)пирена при полной нагрузке при раздельном

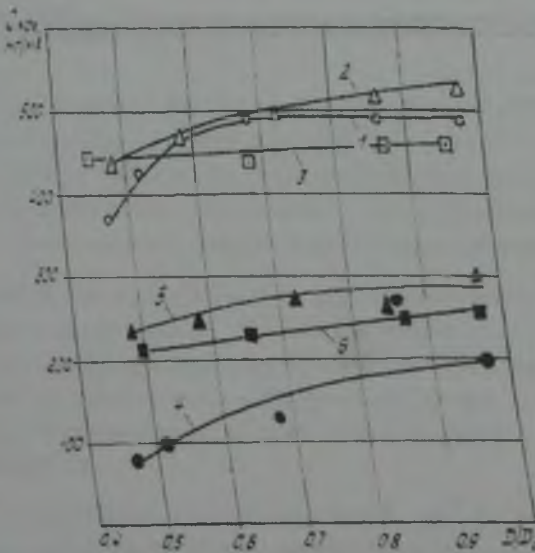
и совместном сжигании газа и мазута после модернизации в основном увеличились, а при частичных нагрузках – уменьшились. При совместном ступенчатом сжигании газа и мазута значительно увеличилась концентрация бенз(а)пирена в 5,2 раза при отключенном встречном воздухе $d_2=0$ и в 3,7 раза при $d_2=0,11$ (см. табл., опыты № 11, 12). Таким образом, даже в режиме ступенчатого сжигания с наихудшим топливом подача встречного воздуха ($d_2=0,11$) приводит к снижению концентрации бенз(а)пирена на ~39% по сравнению с режимом ступенчатого сжигания без подачи встречного воздуха. На котлах ТГМ 94 (ст. №10, 11) Невинномысской ГРЭС с 6-ю мощными газомазутными горелками получены результаты, на первый взгляд противоречащие известным зависимостям $C_{\text{NOX}} = f(D)$. Однако эти кажущиеся противоречия легко объясняются, во-первых, тем, что при неполных нагрузках отключается до 3-х горелок (см. табл., п. 12), что приводит к чрезмерно большим избыткам воздуха в оставшихся в работе горелках при неизменном расходе топлива в них, во-вторых, как с помощью эмпирической зависимости (например, полученной ИГ АН УССР [5]), так и с помощью кинетических уравнений. Указанным режимом работы горелок с чрезмерно большими избытками воздуха при частичных нагрузках, видимо, можно также объяснить другое удивительное явление снижения при малых нагрузках концентрации сажи и бенз(а)пирена при ступенчатом сжигании газа (см. табл., опыт № 5) и снижения концентрации сажи при ступенчатом сжигании газа и мазута (см. табл., опыты № 13, 14). Следует отметить, что в отличие от близких концентраций оксидов азота, полученных на котлах ст. № 11 и 10, в продуктах сгорания котла №10 получены иные значения концентрации сажи и бенз(а)пирена. Причем концентрации сажи немного выше, чем на котле №11, а концентрации бенз(а)пирена напротив значительно ниже. Однако эти различия объясняются незначительными отличиями в схеме рециркуляции и режимными параметрами. В целом же измеренные концентрации сажи и бенз(а)пирена соответствуют налаженным режимам сжигания газа и мазута в традиционных топках без организации ступенчатого сжигания.

Проведены также исследования зависимости режимных и технико-экономических показателей работы котла ТГМ 94 (ст. № 8, 10, 11) от нагрузки при отдельном и совместном ступенчатом сжигании газа и мазута. На этих котлах достигнуты довольно высокие значения к.п.д. (брутто) котла. После модернизации котла № 11 снижены расход электроэнергии на собственные нужды на 1,6 кВт·ч/т пара и расход электроэнергии на тягу и дутье на 0,8 кВт·ч/т пара. Близкие результаты получены после мо-



1 – топка котла; 2, 3 – горелки; 4 – шлицы для подачи верхнего дополнительного воздуха (третичного воздуха δ_3); 5 – шлицы для подачи нижнего встречного дополнительного воздуха (вторичного воздуха δ_2).

Рис. 1. Схема организации ступенчатого сжигания топлива в топках котлов ТГМ-94 Невинномысской ГРЭС



1 – ○ } при сжигании газа; 2 – △ } при сжигании мазута;
 4 – ● }
 5 – ▲ }
 3 – □ } при совместном сжигании газа и мазута
 6 – ■ }

Рис. 2. Концентрации оксидов азота, замеренные на котле ТГМ-94 (ст. №11), при совместном и раздельном одноступенчатом (1, 2, 3) и ступенчатом (4, 5, 6) сжигании газа и мазута (режимные условия представлены в таблице)

дернизации котлов ТГМ 94 (ст. № 8, 10) Невинномысской ГРЭС (соответственно 1,6 и 1,2 кВт·ч/т пара на котле № 8 и 1,94 и 2,075 кВт·ч/т пара на котле № 10).

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1346907 СССР. Способ сжигания топлива. / Цирульников Л.М., Баубеков К.Т., Жабо В.В., Левин М.М. и др. (СССР).– № 4024399/24–06, заявлено 18.02.86, опубл. 22.06.87 // Открытия. Изобретения, 1987.– № 39.– С. 177.

2. А.с. 1398553 СССР. Способ сжигания топлива. / Цирульников Л.М., Баубеков К.Т., Соколова Л.И., Левин М.М., Караченцев В.С. (СССР).– 4055248/24–06; заявлено 16.04.86; ДСП.

3. А.с. 1395897 СССР. Способ сжигания газа / Цирульников Л.М., Баубеков К.Т. и др. (СССР).– № 4068710/24–06; заявлено 19.05.86; опубл. 15.01.88. // Открытия. Изобретения, 1988.– № 18.– С. 153.

4. Нурмухамедов М.Н. Баубеков К.Т., Левин М.М., Караченцев В.С. Снижение выбросов оксидов азота путем трехступенчатого сжигания при совместном и раздельном сжигании газа и мазута. / Снижение и очистка газовых выбросов в атмосфере: Тезисы докладов.– Киев: Институт газа АН УССР, 1989.– С. 19.

5. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива.– Л.: Недра, 1988.– 312 с.
