



УДК 621.1

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГАЗОВОЙ ДОБЫЧИ



APPLICATION OF DIAGNOSTIC METHODS FOR HEAT POWER EQUIPMENT AT GAS PRODUCTION ENTERPRISES

Белкин Алексей Павлович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры промышленная теплоэнергетика,
Тюменский индустриальный университет
kpt.belkin@mail.ru

Бакин Юрий Александрович

магистр 2 курса обучения по направлению
теплоэнергетика и теплотехника,
Тюменский индустриальный университет
bakind@rambler.ru

Аннотация. Статья посвящена комплексному подходу к оценке технического состояния котельных установок газодобывающих предприятий на основании проведения режимно-наладочных испытаний и технической диагностики.

Ключевые слова: котел, режимно-наладочные испытания, потери, КПД.

Belkin Alexey Pavlovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor Department
of Industrial Heat Power Engineering,
Tyumen industrial university
kpt.belkin@mail.ru

Bakin Yuri Alexandrovich

Master of the 2nd year of study
in the direction Heat and Power Engineering,
Tyumen industrial university
bakind@rambler.ru

Annotation. The article is devoted to an integrated approach to assessing the technical condition of boiler plants of gas producing enterprises on the basis of conducting operational tests and technical diagnostics.

Keywords: boiler, operational tests, losses, efficiency.

На производственно-отопительных котельных ООО «Газпром добыча Уренгой» в основном установлены и эксплуатируются паровые водотрубные котлы на номинальное давление 1,3 МПа. Фактически же большинство котлов, по разным причинам, работает под давлением 0,7–1,0 МПа, а служба эксплуатации котельных не располагает данными о фактической наработке.

Состояние котлов оценивается в основном по двум направлениям: по реализации заданных проектом технологических функций, т.е. контролируется работа, и по износу, вызванному процессами, соответствующими технологии выработки пара и горячей воды, т.е. контролируется техническое состояние оборудования [1].

В процессе эксплуатации и технического обслуживания теплоэнергетического оборудования возникает проблема разработки эффективных систем технической диагностики с целью выявления и предотвращения аварийных ситуаций, определения текущего и прогнозирования технического состояния оборудования.

С целью повышения эффективности эксплуатации котельных установок необходимо проводить режимно-наладочные испытания для [3]:

- наладки режимов работы котлов и вспомогательного оборудования;
- составления режимной карты с указанием оптимальных параметров работы котла не менее чем на 4-х возможных нагрузках;
- определения минимальной и максимальной производительности котла;
- определения удельного расхода топлива на отпущенную тепловую энергию;
- выявления величин отдельных тепловых потерь и определение методов их уменьшения или полного устранения;
- определения КПД «брутто» котла;
- исследования работы топки (тепловое напряжение, температура в разных точках, избыток воздуха и состав газов за топкой, влияние первичного и вторичного воздуха на процесс горения);
- исследования работы экономайзера, воздухоподогревателя;
- определения сопротивлений участков газозадушного тракта, присосов воздуха в газоходы при разных режимах и нагрузках.

По результатам испытаний составляется сводная ведомость с данными измерений и теплотехнических расчетов по газу, воде, продуктам сгорания, воздуху, разрежению, нормы расхода топлива на выработку 1 Гкал тепла, экономические показатели. На основании теплотехнических расчетов и графиков, анализа опытных данных составляются выводы о работе котла и рекомендации [6, 7].



Результаты обработки материалов испытаний приведены в таблицах 1, 2 в которых опыты № 1, 2, 3, 4 – соответствуют оптимальным условиям работы котла при 4-ех нагрузках. Опыт № 5 является фотографией работы котла перед проведением режимно-наладочных испытаний.

Таблица 1 – Результаты испытаний парового котла ДКВР-6,5/13

Показатели	Ед.изм.	Обозначение	Способ получения	Нагрузка в % от номинальной производительности				
				После проведения испытаний				Фото
				28	65	86	97	55
				№№ опытов				
				1	2	3	4	5
1.ТОПЛИВО			Природный газ					
Состав топлива:								
– метан	%	CH ₄	Данные лаборатории	99,09	99,09	99,09	99,09	99,09
– этан	%	C ₂ H ₆		0,099	0,099	0,099	0,099	0,099
– пропан	%	C ₃ H ₈		0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
– бутан	%	iC ₄ H ₁₀		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– бутан	%	hC ₄ H ₁₀		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– пентан	%	iC ₅ H ₁₂		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– пентан	%	hC ₅ H ₁₂		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– гексан	%	C ₆ H ₁₄		0	0	0	0	0
– плотность	кг/м ³	г		0,673	0,673	0,673	0,673	0,673
Теплота сгорания	ккал/ст.м ³	Q _{РН}	30,2 · CO ₂ + 25,84 · H ₂ + + 85,5 · CH ₄ + 152 · C ₃ H ₆ + + ... + 52H ₂	7928	7928	7928	7928	7928
Максимальное содержание углекислого газа в продуктах сгорания	%	CO ₂ ^{max}	11,75 + 0,01(2C ₂ H ₆ + 4C ₃ H ₈ + ... + 11CO ₂ - 1,5N ₂)	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Топливная характеристика		β	$\frac{21 - CO_2^{max}}{CO_2^{max}}$	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Температура газа перед горелками	°С	t _г	Среднее за опыт	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
Давление газа перед горелками	кгс/м ²	P _г	-//-	5	40	70	110	40
Давление газа после ГРУ	кПа	P' _г	-//-	3,40	3,10	2,60	2,00	3,10
Расход газа на котла	м ³ /ч	V _г	-//-	154	337	436	490	290
II. ПАР И ПИТАТЕЛЬНАЯ ВОДА								
Паропроизводительность котла	т/ч	D _п	Среднее за опыт	1,8	4,2	5,6	6,3	3,6
Давление пара в барабане котла	кгс/см ²	P _б	-//-	7,3	7,4	7,6	7,5	7,3
Энтальпия пара	ккал/кг	i _п	i _п = f(P _б)	661	661	661	661	661
Давление питательной воды	–	–	–	–	–	–	–	–
– перед питательными насосами	кгс/см ²	P' _{п.в.}	-//-	8,2	8,3	8,6	8,6	8,5
– после питательных насосов	кгс/см ²	P' _{п.в.}	-//-	7,5	7,6	7,7	7,8	7,5
Температура питательной воды:								
– до экономайзера	°С	t' _{эк}	-//-	100	100	100	100	100
– после экономайзера	°С	t'' _{эк}	-//-	109	118	122	127	118



Показатели	Ед.изм.	Обозначение	Способ получения	Нагрузка в % от номинальной производительности				
				После проведения испытаний				Фото
				28	65	86	97	55
				№№ опытов				
				1	2	3	4	5
III. ВОЗДУХ И ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ								
Давление воздуха перед горелками	кгс/м ²	P _в	Среднее за опыт	2	9	16	25	9
Температура воздуха перед горелками	°C	t _в	-//-	27	26	26	26	26
Разрежение:								
– в топке	кгс/м ²	S _t	-//-	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
– за котлом	кгс/м ²	S' _{ЭК}	-//-	5	7	8	9	7
– за экономайзером	кгс/м ²	S'' _{ЭК}	-//-	25	48	55	75	38
Аэродинамическое сопротивление:								
– котла	кгс/м ²	ΔS _к	S' _{ЭК} – S _т	2,5	4,5	5,5	6,5	4,5
– экономайзера	кгс/м ²	ΔS _{ЭК}	S'' _{ЭК} – S' _{ЭК}	20	41	47	66	31
Температура газов:								
– за котлом	°C	T' _{ЭК}	Среднее за опыт	203	229	242	259	229
– за экономайзером	°C	T'' _{ЭК}	-//-	119	133	135	142	133
Содержание в уходящих газах за котлом:								
– углекислого газа	%	(CO ₂)' _{ЭК}	Среднее за опыт	5,00	8,00	9,20	9,80	8,00
– кислорода	%	(O ₂)' _{ЭК}	-//-	12,10	6,80	4,60	3,60	6,80
– окиси углерода	%	CO' _{ЭК}	$\frac{21 - \beta \cdot CO_2 - (CO_2 + O_2)}{0,6 + \beta}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
– азота	%	(N ₂)' _{ЭК}	100 – (CO ₂ + O ₂ + CO)	82,9	85,2	86,2	86,6	85,2
Содержание в уходящих газах за экономайзером:								
– углекислого газа	%	(CO ₂)'' _{ЭК}	Среднее за опыт	3,60	5,20	7,00	7,20	5,20
– кислорода	%	(O ₂)'' _{ЭК}	-//-	14,60	11,80	8,50	8,20	11,80
– окиси углерода	%	CO'' _{ЭК}	$\frac{21 - \beta \cdot CO_2 - (CO_2 + O_2)}{0,6 + \beta}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
– азота	%	(N ₂)'' _{ЭК}	100 – (CO ₂ + O ₂ + CO)	81,8	83,0	84,5	84,6	83,0
Коэффициент избытка воздуха:								
– за котлом		α' _{ЭК}	$\frac{1}{1 - 3,76 \times \frac{O_2 - 0,5 \cdot CO}{N_2}}$	2,22	1,43	1,25	1,19	1,43
– за экономайзером		α'' _{ЭК}		3,04	2,15	1,61	1,57	2,15
Присосы воздуха по газо-воздушному тракту		Δα	α'' _{ЭК} – α' _{ЭК}	0,82	0,72	0,36	0,39	0,72
IV. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ								
Потери тепла с уходящими газами	%	q ₂	0,01 · Z(T'' _{ЭК} – t _в)	10,30	8,61	6,78	7,02	8,61
Коэффициент		Z		11,20	8,05	6,22	6,05	8,05
Потери тепла от химической неполноты сгорания	%	q ₃	$\frac{35 \cdot CO}{CO_2 + CO}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Потери тепла в окружающую среду номинальные	%	q ₅ ^H	По графику	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0



Показатели	Ед.изм.	Обозначение	Способ получения	Нагрузка в % от номинальной производительности				
				После проведения испытаний				Фото
				28	65	86	97	
				№№ опытов				5
1	2	3	4					
Потери тепла в окружающую среду действительные	%	q ₅	$q_5 \frac{D_n}{D_p}$	7,22	3,10	2,32	2,06	3,61
Коэффициент полезного действия брутто	%	η _{бр}	100 – (q ₂ + q ₃ + q ₅)	82,5	88,3	90,9	90,9	87,8
Удельный расход натурального топлива на 1 Гкал	м ³ /Гкал	V _н	$\frac{10^6}{Q_n^p \cdot \eta_{бр}}$	152,9	142,9	138,8	138,7	143,7
Удельный расход условного топлива	кг.у.т./Гкал	V _{у.т.}	$\frac{10^6}{7000 \cdot \eta_{бр}}$	173,2	161,8	157,2	157,1	162,7

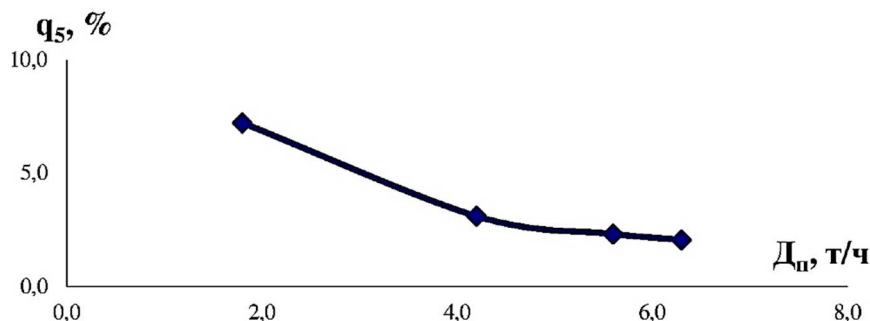


Рисунок 1 – Зависимость потери тепла в окружающую среду от паропроизводительности котла

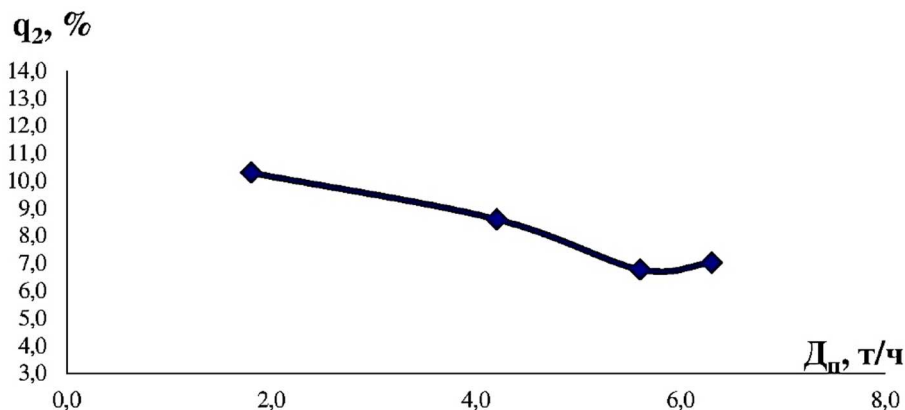


Рисунок 2 – Зависимость потери тепла с уходящими газами от паропроизводительности котла

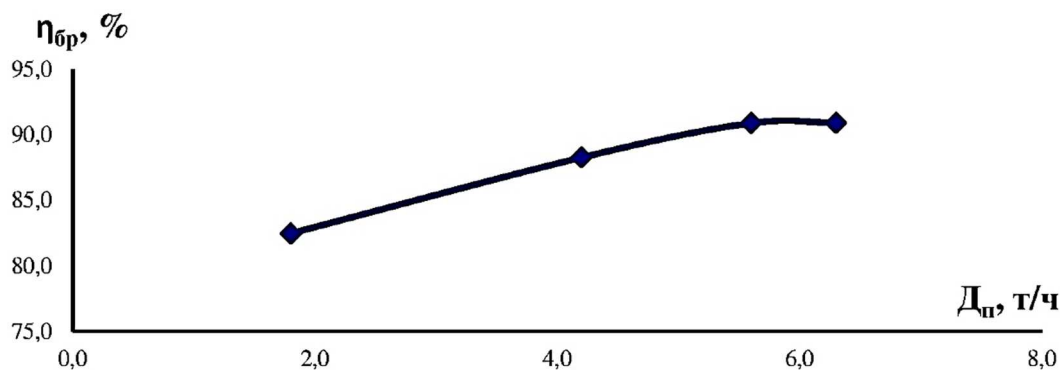


Рисунок 3 – Зависимость КПД брутто котла от паропроизводительности котла



Таблица 2 – Экономическая эффективность выполненных испытаний

Параметры работы котла	Обозначение	Ед. изм.	Параметры при производительности в % от номинальной	
			после наладки	до наладки
			65	55
I. Паропроизводительность и питательная вода				
Паропроизводительность	D_p	т/ч	4,2	3,6
Давление пара в барабане	P_b	кгс/см ²	7,4	7,3
Температура питательной воды	– до экономайзера	$t'_{пв}$	100	100
	– после экономайзера	$t''_{пв}$	118	118
Давление пит. воды после пит. насоса	$P''_{пв}$	кгс/см ²	8,3	8,5
II. Топливо				
Вид топлива			Природный газ	
Низшая теплота сгорания газа	$Q_{нр}$	ккал/ст.м ³	7928	7928
Температура газа перед горелкой	t_r	оС	24	24
Давление газа после РД	P'_r	кПа	3,1	3,1
Давление газа перед горелкой	P_r	кгс/м ²	40	40
Расход топлива на котел	B_r	м ³ /ч	337	290
III. Воздух и продукты горения				
Давление воздуха перед горелкой	P_v	кгс/м ²	9	9
Температура дутьевого воздуха	t_v	оС	26	26
Разрежение	– в топке котла	S_t	кгс/м ²	2,5
	– за котлом	S_k	кгс/м ²	7
	– за экономайзером	$S_{эк}$	кгс/м ²	48
Содержание углекислого газа	– за котлом	CO'_2	%	8,0
	– за экономайзером	CO''_2	%	5,2
Содержание кислорода	– за котлом	O'_2	%	6,8
	– за экономайзером	O''_2	%	11,8
Содержание окиси углерода	– за котлом	CO'	%	0,0
	– за экономайзером	CO''	%	0,0
Коэффициент избытка воздуха	– за котлом	α_k		1,43
	– за экономайзером	$\alpha_{эк}$		2,15
Температура уходящих газов	– за котлом	$t'_{ух}$	оС	229
	– за экономайзером	$t''_{ух}$	оС	133
IV. Экономические показатели котла				
Потери тепла	– с уходящими газами	q_2	%	8,61
	– от химического недожога	q_3	%	0,00
	– в окружающую среду	q_5^{Φ}	%	3,10
КПД котла брутто	$\eta_{бр}$	%	88,3	87,8
Удельный расход условного топлива	$q_{уд.}$	кгут/Гкал	161,80	162,74
Экономия удельного расхода условного топлива	$\Delta q_{уд.}$	кгут/Гкал	0,94	

С учетом проведённых режимно-наладочных испытаний экономический эффект составит [2]:

1. Часовая экономия расхода условного топлива:

$$\Delta q_{уд.} = (q'_{уд.} - q''_{уд.}) \cdot Q^k = (162,74 - 161,80) \cdot 2,02 = 1,895 \text{ кг.у.т./час.} \quad (1)$$



2. Годовая экономия расхода условного топлива после проведения наладочных работ:

$$\Theta_{1к} = \Delta \cdot T = 1,895 \cdot 2000 = 3790,0 \text{ кг.у.т.} \quad (2)$$

3. Годовая экономия натурального топлива в год котлом после проведенных режимно-наладочных испытаний:

$$\text{Эн.т.} = \frac{\Theta_k \times Q_{1рн}}{Q_{рн}} = \frac{3790 \times 7000}{7928} = 3346,37 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3)$$

В результате проведенных испытаний с учетом выполненных расчетов установлено:

1. Температуры уходящих газов за котлом и экономайзером не превышают расчетные значения.
2. Коэффициенты избытка воздуха за котлом и экономайзером незначительно превышают расчетные значения и обусловлены:
 - присосами воздуха по газовому тракту котла;
 - повышенным содержанием кислорода в горении, вследствие увеличенного давления воздуха в графике соотношения газ-воздух.
3. Имеют место колебания разрежения, давления воздуха и газа. При номинальной нагрузке эти колебания составляют:
 - разрежение $\pm 1,5$ кгс/м².
 - давление воздуха ± 2 кгс/м².
 - давление газа ± 5 кгс/м².
4. Потери тепла с уходящими газами не превышают расчетное значение.

Литература

1. Ковалев И.А. Цели и задачи технической диагностики // Труды ЦКТИ. – 1992. – Вып. 273. – С. 3–8.
2. Методика определения нормативов расхода газа на собственные нужды : ОАО «Газпром» СТО Газпром 3.1-2-006-2008. – М., 2008.
3. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС / под ред. Андрищенко. – М. : ВШ, 1991. – 303 с.
4. Роддатис К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
5. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. – М. : Наука, 1986. – 253 с.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов : Нормативный метод. – Лениздат, 1977.
7. Трёмбовля В.И. [и др.]. Теплотехнические испытания котельных установок. – М. : Энергия, 1977.

References

1. Kovalev I.A. Goals and tasks of technical diagnostics // Proceedings of CKTI. – 1992. – Issue 273. – P. 3–8.
2. Methods of determining norms of gas consumption for own needs : OAO Gazprom STO Gazprom 3.1-2-006-2008. – M., 2008.
3. Reliability of heat and power equipment of TPP and NPP / ed. by Andriushchenko. – M. : VSh., 1991. – 303 p.
4. Roddatis K.F. Directory of boiler plants of low productivity. – M. : Energoatom-issued, 1989.
5. Rudenko Yu.N., Ushakov I.A. Reliability of power engineering systems. – M. : Nauka, 1986. – 253 p.
6. Thermal Calculation of Boiler Units : Normative Method. – Lenizdat, 1977.
7. Trembovlya V.I. [et al.]. Heat Engineering Tests of Boiler Units. – M. : Energia, 1977.