

## Анализ работы котла КВ-ГМ-50 в основном режиме эксплуатации при различной температуре наружного воздуха

Авдюнин Е.Г., д-р техн. наук, Шельгин Б.Л., канд. техн. наук, Трояновский А.Б., асп.

Предлагаются анализ условий работы энергетических установок (водогрейного котла КВ-ГМ-50) в целях оптимизации режима работы и тепловой расчет с использованием программного продукта «ТРАКТ».

*Ключевые слова:* водогрейный котел, режим работы, эксплуатация.

## The analysis of boiler KV-GM-50 operation under the exploitatin regiment at variable outside air temperature

Avdyunin E.G., doctor of science, Shelygin B.L., candidate of science, Troyanovsky A.B., graduate student

The analysis of the working conditions of the power equipment was carried out to optimize it's operation regiment. The siftware product TRACT has been used for the calculations.

*Keywords:* water-warm caldron, state of working, usage.

Система теплоснабжения может быть представлена в виде единой системы, состоящей из двух и более последовательно взаимосвязанных циркуляционных колец. Принимая, что порядковый номер колец возрастает от источника теплоты к потребителю, в качестве первого циркуляционного кольца ( $k = 1$ ) рассматривается совокупность газоходов котельной установки (ее дымовой тракт). Это кольцо замыкается на окружающую среду и обеспечивает нагрев продуктов сгорания теплоносителя (воды) при его движении по трубам водяного тракта котла. Соответственно, трубы водяного тракта котла представляют собой начало второго циркуляционного кольца ( $k = 2$ ).

При заданной мощности котла ( $Q = \text{const}$ ) можно отметить следующее. Рост значения перепада температуры  $\Delta t_1$  (энтальпии  $\Delta I_1$ ) продуктов сгорания ведет к снижению их расхода  $G_1$  и, соответственно, уменьшению текущих затрат  $C_{з1}$ , обусловленных расходом  $B_{з1}$  электрической энергии на их перемещение по дымовому тракту котла. Кроме того, снижение расхода  $G_1$  продуктов сгорания в котле ведет к снижению расходов топлива  $B_m$  и воздуха  $B_e$  и, соответственно, уменьшению текущих затрат  $C_{з11}$ ,  $C_{з12}$ ,  $C_{11}$ , обусловленных расходами  $B_{з11}$  и  $B_{з12}$  электрической энергии на подачу топлива и воздуха в топку котла, а также расходом  $B_m$  топлива. Однако при этом растет площадь  $F_1$  поверхности труб водяного тракта котла, т.е. растет металлоемкость котла и при этом увеличиваются инвестиции  $I_1$ .

С ростом скорости  $v_1$  движения продуктов сгорания уменьшается площадь  $f_{1н}$  живых сечений каналов, образующих дымовой тракт котла, и, соответственно, снижается его материалоемкость, а следовательно, уменьшаются и инвестиции. Однако при этом увеличиваются

текущие затраты  $C_{з1}$ , обусловленные расходом  $B_{зк}$  электрической энергии на перемещение продуктов сгорания по дымовому тракту котла.

Расчетный анализ проводился для рабочего диапазона теплопроизводительности котла при ступенчатом снижении его относительной тепловой нагрузки от номинальной (100%) до минимально допустимой [4, 5].

При нагрузках  $Q/Q_H \leq 0,6$ , когда снижаются интенсивность образования топливно-воздушной смеси и температурный уровень в зоне горения, ухудшение полноты сгорания топлива в расчетах учитывается повышением тепловых потерь  $q_3$  и  $q_4$ .

В целях совершенства смесеобразования для снижения топочных потерь при нагрузках  $Q/Q_H \leq 0,8$  предусматривается увеличение коэффициента избытка воздуха  $\alpha''_m$ .

Потеря теплоты от наружного охлаждения котла при пониженных нагрузках определяется из выражения, %

$$q_5 = q_5^H Q_H / Q, \quad (1)$$

где  $q_5^H$  и  $Q_H$  – характеристики, принимаемые из расчета котла на номинальную нагрузку (базовый вариант).

Исходные условия для выполнения расчетного анализа и его результаты записывают в таблицу (табл. 1).

В условиях четырех заданных режимов необходимо изменение исходных данных программы расчета в строках 204001, 204002, 205001, 206002, 207003.

В строке 204001 величину заданного расхода топлива  $BZ$  предварительно принимают пропорциональной теплопроизводительности котла. В ходе расчета величина  $BZ$  корректируется, чтобы температура воды на вхо-

де в котел поддерживалась на постоянном уровне (65–70 °С).

Строится график изменения КПД котла  $\eta_k$  в зависимости от теплопроизводительности  $Q$ , образец которого представлен на рисунке [1, 2].

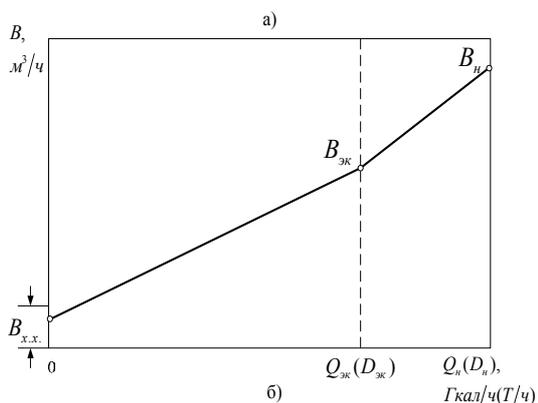
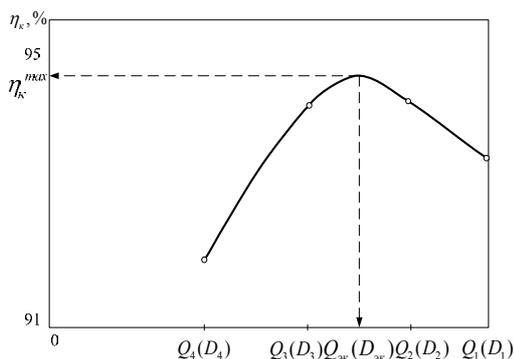
По максимальному значению КПД  $\eta_k^{max}$  определяется экономическая теплопроизводительность котла, соответствующая его оптимальной нагрузке. Расход топлива, соответствующий экономической теплопроизводительности котла, определяется по формуле [3], м<sup>3</sup>/ч,

$$B_{эк} = 100Q_{эк} / (Q_p^p \eta_k^{max}), \quad (2)$$

где  $Q_p^p$  – располагаемая теплота топлива, ккал/ч.

Таблица 1. Исходные условия и результаты вариантных расчетов котла КВ-ГМ-50

Наименование	Режимы			
	1	2	3	4
Относительная нагрузка $Q/Q_{ном}$	1,0	0,8	0,6	0,4
Теплопроизводительность, Гкал/ч	52,9	42,3	31,7	21,2
Температура воды на входе в котел, °С	65	65	65	65
Температура воды на выходе из котла, °С	150	130	115	97



Определение оптимальной нагрузки котла и его энергетической характеристики: а – КПД котла; б – расхода топлива

Энергетическая (топливная) характеристика представляет зависимость расхода топлива от теплопроизводительности котла. Ее принято выражать в двухлинейном виде с точ-

кой перелома, соответствующей экономической нагрузке котла (рисунок):

$$B = B_{xx} + b_1Q + (b_2 - b_1)(Q - Q_{эк}), \quad (3)$$

где  $B_{xx}$  – расход топлива на холостой ход энергоустановки при  $Q = 0$ ;  $b_1$  и  $b_2$  – относительные приросты расхода топлива.

Значения относительных приростов расхода топлива можно определить по формулам

$$b_1 = (B_{эк} - 1,05B_4) / (Q_{эк} - Q_4),$$

$$b_2 = (B_1 - B_{эк}) / (Q_1 - Q_{эк}), \quad (4)$$

где  $B_1, B_4, Q_1, Q_4$  – расходы топлива и теплопроизводительности котла при первом и четвертом режимах, т/ч, соответственно.

Расход топлива на холостой ход энергоустановки, т/ч, рассчитывается как

$$B_{xx} = 1,05B_4 - b_1Q_4. \quad (5)$$

После расчета значений  $b_1, b_2$  и  $B_{xx}$  получают итоговую формулу энергетической характеристики и строят график согласно образцу, представленному на рисунке.

По результатам вариантных расчетов изображаются графики, показывающие изменение температуры уходящих газов  $\vartheta_{yx}$ , температуры газов на выходе из топочной камеры  $\vartheta''_m$ , коэффициента избытка воздуха в уходящих газах  $\alpha_{yx}$  в зависимости от значений  $Q$ .

Расчеты проводились для водогрейного котла КВ-ГМ 50. Минимальное значение КПД котла (брутто) с уменьшением теплопроизводительности от 52,9 до 19,7 Гкал/ч при низких температурах наружного воздуха (–20 до –40°С) возрастает в пределах от 90,5 до 92,14%, что соответствует зависимости

$$\eta_k^{min} = 90,45 + 0,153(52,9 - Q_k)^{0,69}. \quad (6)$$

Максимальное абсолютное отклонение расчетных данных от результатов математической обработки не превышает 0,2 %.

Соответственно, при снижении нагрузки температура уходящих газов уменьшается до 91°С, а температура на выходе из топки – до 784°С, что допустимо по условиям нормальной эксплуатации водогрейного котла. При теплоте сгорания природного газа 10170 Ккал/м<sup>3</sup> с увеличением производительности в указанных ранее пределах расход топлива возрастает от 2076 до 5645 м<sup>3</sup>/ч и аппроксимируется зависимостью

$$B_2 = 5645 - 122,4(52,9 - Q_k)^{0,96}. \quad (7)$$

Максимальное относительное отклонение расчетных данных от результатов математической обработки не превышает 1,7%. Для конкретных условий работы отопительной котельной, в зависимости от количества установленных агрегатов, с учетом температуры наружного воздуха, котлы могут нести нагрузки, отличные от заданных.

При постоянно повышающейся стоимости топлива практический и экономический интерес представляет изменение КПД котла (брутто) и расхода топлива в зависимости от температуры наружного воздуха при неизменной теплопроизводительности. Расчеты проводились при  $Q = 52,9$  Гкал/ч и температуре воздуха от 0 до  $-40^\circ\text{C}$ . В результате исследований были получены следующие данные (табл. 2).

Таблица 2. Результаты исследований

Наименование характеристики	Котел КВ-ГМ-50		
Температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	0	-20	-40
КПД котла (брутто), %	92	91,5	90,5
Расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$	5543	5601	5645

Обобщающие зависимости для КПД котла и удельного расхода топлива имеют следующий вид:

$$\eta_k = 90,45 + 0,0321(t_{нар} + 40)^{1,05} + 0,153(52,9 - Q_k)^{0,69},$$

$$b_e = 8201 - 3,91(t_{нар} + 40) - 177,8(52,9 - Q_k)^{0,96}. \quad (8)$$

Как установлено, для котла КВ-ГМ-50 удельный расход условного топлива зависит от температуры наружного воздуха и теплопроизводительности агрегата. При  $t_{нар} = -40^\circ\text{C}$ ,

$b_y = 153-156$  кг у.т/Гкал, а при  $t_{нар} = 0^\circ\text{C}$ , соответственно,  $b_y = 148-152$  кг у.т/Гкал.

В результате решения задачи получены численные зависимости и разработан аналитический аппарат, которые позволят обеспечить определение оптимальных параметров состояния технологических параметров водогрейных котлов. В качестве критерия оптимальности при решении задачи может быть принят минимум полных затрат на реализацию процесса нагрева воды.

#### Список литературы

1. Носков А.И. Руководство для пользователей «Справочные материалы по программе ТРАКТ» / ЗИО. – Подольск, 1984.
2. Гудзюк В.Л., Ривкин А.С., Шельгин Б.Л. Методические указания по теме «Тепловой поверочный расчет паровых котлов на ЭВМ ЕС» / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 1989.
3. Бузников Е.Ф., Роддатис К.Ф., Берзиньш Э.Я. Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергия, 1974.
4. Котлы малой и средней мощности и топочные устройства: отраслевой каталог 15 – 83 / Г.М. Вишерской и др. – М.: НИИЭИН-ФОРМЭНЕРГОМАШ, 1983.
5. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасина. – М.: Энергия, 1973.

Авдюнин Евгений Геннадьевич,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
доктор технических наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики,  
e-mail: avdunin@pte.ispu.ru

Шельгин Борис Леонидович,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Трояновский Александр Борисович,  
Образовательное учреждение «Варьеганский учебный центр «Нефтяник»,  
заместитель директора,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики,  
адрес: 628464, Тюменская обл., г. Радужный, 2-й Микрорайон, д. 7, кв. 27.