

Приборы и оборудование

УДК 621.18.04

Модернизация водогрейных котлов ТВГ

*Лавренцов Е.М.¹, Сигал И.Я.¹, Смихула А.В.¹,
Березанский В.В.², Овчар В.В.²*

¹ *Институт газа НАН Украины, Киев*

² *АК «Жилтеплоэнерго Киевэнерго», Киев*

Срок службы котлов ТВГ ограничивается выходом из строя конвективной поверхности нагрева, изготавливаемой из труб малого диаметра (28×3 мм), и необходимостью замены горелочных устройств. Для повышения эффективности и срока службы котлов разработаны проекты модернизации с использованием труб $d > 28$ мм для изготовления конвективной поверхности нагрева и новых усовершенствованных подовых горелок МПИГ-3.

Ключевые слова: коммунальная теплоэнергетика, котлы ТВГ, горелка МПИГ-3, модернизация.

Термін служби котлів ТВГ обмежується виходом з ладу конвективної поверхні нагрівання, що виготовляється з труб малого діаметра (28×3 мм), та необхідністю заміни паликових пристроїв. Для підвищення ефективності та терміну служби котлів розроблено проекти модернізації з використанням труб $d > 28$ мм для виготовлення конвективної поверхні нагрівання та нових удосконалених подових пальників МПИГ-3.

Ключові слова: комунальна теплоенергетика, котли ТВГ, пальник МПИГ-3, модернізація.

В коммунальной энергетике и промышленности Украины, а также РФ и странах СНГ работает большое количество котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М теплопроизводительностью до 10 МВт, принципиальная конструкция которых разработана Институтом газа НАН Украины [1, 2] и которые серийно выпускаются Монастырищенским машиностроительным заводом (г. Монастырище Черкасской обл.) [3, 4]. С 1965 г. заводом выпущено более 8500 котлов, в том числе для Украины более 2300. Кроме схожести котлов по топочной части [1, 2], имеется схожесть и в конструкции конвективной поверхности нагрева, которая изготавливается из змеевиковых труб диаметром 28×3 мм, сваренных в стояки диаметром $57 \times 3,5$ или 60×3 мм и размещенных равномерно в поперечном сечении конвективного газохода с шагом 64 мм [3].

Изучив опыт длительной эксплуатации котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М, сотрудники Института газа пришли к такому выводу: использование трубы малого диаметра (28×3 мм) приводит к относительно быстрой зашлакованности, износу труб и необходимости замены конвективной поверхности нагрева или котла в целом. За время эксплуатации котлов конвективную поверхность меняли через 8–10 лет, в зависимости от качества химводоподготовки, работы деаэрационной системы, чистоты теплотрассы и т.п. При этом радиационная поверхность нагрева по состоянию даже после 15–20 лет эксплуатации не требовала замены (кроме проведения обычного текущего или планового ремонта), что связано с некоторыми из запатентованных отличий: применение щелевых подовых горелок, распо-

ложенных между вертикальными топочными экранами, длина огневой части которых соизмерима с длиной экрана, что обеспечивает равномерную тепловую нагрузку экранных труб. Кроме того, такая конструкция топки и газогорелочного устройства способствует еще и снижению концентрации вредных веществ в уходящих газах [4]. Необходимость замены подовых горелок, возникающая раз в 3–5 лет, требует их усовершенствования для продления срока службы.

Институт газа, поставив цель показать, что срок службы котлов ТВГ, отработавших ресурс, может быть дополнительно существенно увеличен (еще на 15 лет) с одновременным улучшением технико-экономических показателей, разработал и осуществил проекты модернизации котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М. В модернизированном котле конвективная поверхность изготавливается из труб большего диаметра, и это дает возможность не только увеличить общий срок службы, но и существенно увеличить эффективность работы котлов: повысить КПД, снизить гидравлическое и аэродинамическое сопротивление.

Модернизация котлов типа ТВГ — это модернизация конвективной поверхности нагрева котлов, а также замена заводских щелевых подовых горелок новыми подовыми щелевыми горелками 3-го поколения (МПИГ-3), разработанными Институтом газа совместно с Институтом промышленной экологии. Модернизация котлов в одних случаях может заключаться только в замене существующей конвективной поверхности нагрева на модернизированную, в других — только в замене заводских горелок на новые, а целесообразнее при модернизации котлов производить замену того и другого.

Таблица 1. Расчетные параметры котлов

Параметр	ТВГ-8/ ТВГ-8М*	ТВГ-8 или ТВГ-8М**	
	28 × 3 мм	32 × 3 мм	38 × 3 мм
Теплопроизводительность Q, Гкал/ч	8,36/8,3	8,3	8,3
Поперечный шаг труб S ₁ , мм	64/64	72	84
Продольный шаг труб S ₂ , мм	35/28	35	40
Площадь конвективной поверхности нагрева F _к , м ²	141,9/109,6	160,3	145,58
Количество параллельно подключенных труб по воде n, шт.	4/3	4	3
Скорость газов в конвективном газоходе W _к , м/с	8,13/9,2	7,84	6,77
Расход воды через котел G, т/ч	104/104	104	104
Гидравлическое сопротивление ΔP _г , кг/см ²	1,3/1,62	1,4	1,14
Аэродинамическое сопротивление ΔН, кг/см ²	43,9/76	51	30
Температура уходящих газов t _{yx} , °C	180/180	140	190
КПД η _к , %	90,3/90,2	92,7	90,7

* — До модернизации, ** — после модернизации.

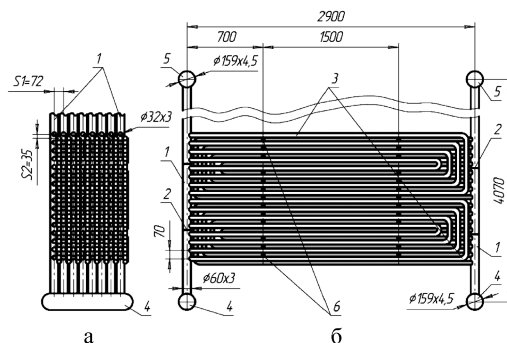


Рис.1. Модернизированная конвективная поверхность нагрева для котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М (а) и секция конвективной поверхности (б): 1 — стояки конвективной поверхности (16 шт. — по 8 шт. с каждой стороны); 2 — заглушки с отверстиями; 3 — змеевиковые трубы (16 шт. в секции); 4 — нижние коллекторы (входные по воде) (2 шт.); 5 — верхние коллекторы (выходные по воде) (2 шт.); 6 — металлические распорки для фиксации труб.

На рис.1 представлена модернизированная конвективная поверхность нагрева для котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М [5]. Конструкция модернизированной поверхности нагрева подобна конструкции конвективной поверхности котла ТВГ-8 и по гидравлической схеме, и по схеме прохождения продуктов сгорания по тракту котла [3].

Проведены расчетные и экспериментальные исследования котла с существующей поверхностью нагрева из трубы диаметром 28 × 3 мм и двух модернизированных котлов с поверхностью нагрева из труб диаметром 32 × 3 мм и 38 × 3 мм.

В табл.1 приведены основные расчетные параметры котлов до и после модернизации конвективной поверхности нагрева [6, 7]. Видно, что использование труб диаметром 32 × 3 мм и размещение их с поперечным шагом S₁ = 72 мм при изготовлении модернизированной конвективной поверхности нагрева к котлам ТВГ-8 и ТВГ-8М приведет к незначительному снижению скорости воды в трубах и продуктов сгорания в конвективном газоходе и тем самым незначительному снижению гидравлического и аэродинамического сопротивления. Однако несмотря на снижение скорости продуктов сгорания и, следовательно, снижение коэффициента теплопередачи, существенное увеличение самой площади конвективной поверхности нагрева вследствие большего диаметра змеевиковой трубы (32 × 3 мм по сравнению с 28 × 3 мм) не только компенсирует снижение коэффициента теплопередачи, но и положительно влияет на общее увеличение теплосъема, снижение температуры уходящих газов и заметное увеличение основного показателя

теля работы котла — КПД ($\eta_k = 92,7$ по сравнению с $\eta_k = 90,3$ и $90,2$ % соответственно в котлах ТВГ-8 и ТВГ-8М до модернизации).

Использование трубы диаметром 38×3 мм с $S_1 = 84$ мм для изготовления модернизированной конвективной поверхности нагрева приведет к дальнейшему снижению скорости продуктов сгорания в конвективном газоходе и дальнейшему снижению аэродинамического сопротивления котла. В то же время технология изготовления змеевиков из трубы большего диаметра требует большего радиусагиба S , который для трубы диаметром 38×3 мм увеличивается от 70 мм (для труб диаметром 28 и 32 мм) до $S = 80$ мм. Это приводит к уменьшению количества труб, которые можно разместить по высоте конвективного газохода с 16 до 12 шт., то есть количество параллельно включенных труб по воде уменьшается с 4 до 3 шт. (на 25 %), а КПД котла практически такой же, как и у котлов до модернизации ($\eta_k = 90,7$ %). С учетом лучших показателей по t_{yx} для изготовления модернизированной конвективной поверхности нагрева для котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М (см. табл.1) с целью продления срока их службы и повышения при этом их эффективности целесообразно использовать трубы диаметром 32×3 мм с $S_1 = 72$ мм.

Для определения степени эффективности модернизации котлов ТВГ-8 или ТВГ-8М были изготовлены два комплекта конвективной поверхности нагрева из труб диаметром 32×3 мм для замены заводских конвективных поверхностей из труб диаметром 28×3 мм, практически исчерпавших свой ресурс. С целью выяснения влияния на показания котлов величины поперечного шага S_1 змеевиковые трубы в первой конвективной поверхности нагрева были установлены с $S_1 = 64$ мм, во второй — с $S_1 = 72$ мм.

Испытания котлов с модернизированными конвективными поверхностями нагрева были проведены «Жилтеплоэнерго Киевэнерго». Для сравнения показателей модернизированных котлов ТВГ-8 или ТВГ-8М с показателями таких же котлов до модернизации были использованы данные приемочных испытаний опытного образца котла ТВГ-8, проведенных ранее в г. Киеве. Были также разработаны, изготовлены и установлены в котле ТВГ-8М подовые горелки 3-го поколения МПИГ-3.

Модернизированные подовые горелки МПИГ-3 (рис.2) имеют специальные латунные газовые сопла (по 272 шт.), направляющие для подвода воздуха к каждому соплу и направляющие для фиксации положения коллектора в щели, допускающие возможность теплового расши-

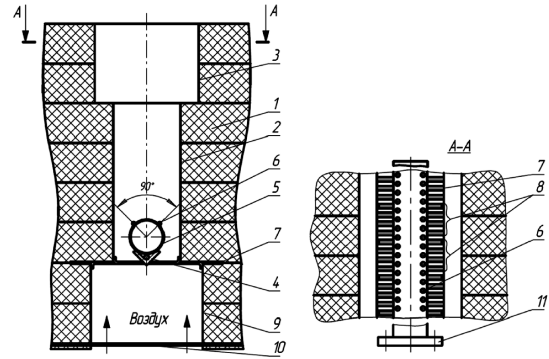


Рис.2. Модернизированные подовые горелки МПИГ-3 для котлов ТВГ-8, ТВГ-8М и др.: 1 — щель из термостойкого материала (огнеупорный кирпич); 2 — амбразура; 3 — канал внезапного расширения; 4 — опорный уголок для крепления коллектора; 5 — газовый коллектор; 6 — сменные сопла; 7 — воздухораспределитель из полос листового стали, набранный из сегментов 8; 9 — воздушная камера; 10 — воздухораспределитель — перфорированный лист; 11 — фланец.

рения без сдвига оси горения. Система отдельных сопел и направляющих для воздуха позволяет уменьшить коэффициент избытка воздуха.

Внезапное расширение щели-амбразуры горелки $a_{щ}$ от 125 до $a'_{щ} = 180$ мм в верхней ее части позволяет не только улучшить стабилизацию факела за счет зон обратных токов, но и интенсифицировать теплообмен излучением в топке за счет увеличения излучающей поверхности устья горелки, являющейся вместе с прилегающей поверхностью пода промежуточным излучателем.

При внезапном расширении увеличивается отношение поверхности пода-излучателя $F_{изл}$ (практически всей площади пода) к поверхности топочных экранов $F_э$:

$$\omega = F_{изл} / F_э. \quad (1)$$

Излучающий под увеличивает коэффициент лучеиспускания топки на величину δ [5–7]. С рядом допущений можно записать прирост коэффициента лучеиспускания:

$$\delta = \frac{\sigma_T^c \text{ изл}}{\sigma_T} = \frac{a_\phi + \varphi_{изл}^3 (1 + \omega)(1 - a_\phi)}{a_\phi \varphi_{изл}^3 + (1 - a_\phi)[1 - \omega \varphi_{изл}^3 (1 - a_\phi)(1 + a_э)]}, \quad (2)$$

где a_ϕ , $a_э$ — степень черноты факела и экрана; $\varphi_{изл}^3$ — угловой коэффициент излучения промежуточного излучателя (пода) на трубы экранов.

Зависимость δ от ω и a_ϕ при $\varphi_{изл}^3 = 0,6 = \text{const}$ и $a_э = 0,8 = \text{const}$ приведены на рис.3. Видно, что влияние промежуточного излучателя (в данном случае пода) особенно велико для малых топков на газе (или небольших топков,

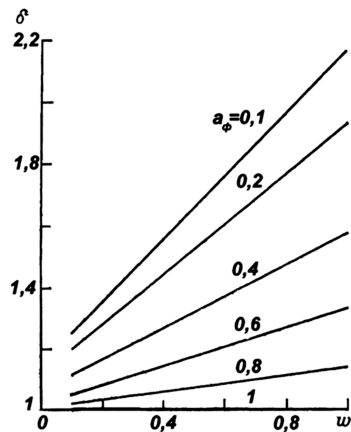


Рис.3. Изменение δ в зависимости от ω и степени черноты факела a_ϕ .

разделенных двухсветными экранами), где степень черноты факела сравнительно невелика ($a_\phi < 0,4$) [8–10]. При этом кладка пода из

шамотного кирпича класса А прогревается до температуры $T_{\text{под}} \leq 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ при максимальной температуре факела $T_\phi \approx 1400 \text{ }^\circ\text{C}$, что объясняется низкими значениями степени черноты факела a_ϕ , влияние которой упрощенно можно записать так [7]:

$$T_{\text{под}} \approx a_\phi^{0,25} T_\phi. \quad (3)$$

Важно отметить еще одно положительное качество топок с подовыми горелками — снижение образования оксидов азота, которое достигается за счет прямооточного (без закрутки) факела и за счет отвода тепла на прогрев промежуточного излучателя-пода. Излучающий под котла вследствие более интенсивного отвода тепла от факела (за счет переизлучения пода) и выравнивания температур по сечению и глубине топочного объема снижает максимальную температуру факела, а также выход окси-

Таблица 2. Результаты испытаний котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М до и после модернизации

Параметр	До модернизации		После модернизации	
	ТВГ-8	ТВГ-8М	$S_1 = 64 \text{ мм}$	$S_1 = 72 \text{ мм}$
Нагрузка котла (Q_k/Q_n), 100, %	102	92	98	99
Давление газа на входе в горелку P_r , кг/м ²	1768	1600	1300	2000
Расход газа на котел В м ³ /ч	1060	1039	1058	1045
Теплотворная способность газа Q, ккал/м ³	8761	8176	8217	8197
Температура воды на входе в котел $t_{вх}$, °С	83	50	50	48,4
Температура воды на выходе из котла $t_{вх}$, °С	125	128	124	120,8
Расход воды через котел В, т/ч	202	98	109	110
Гидравлическое сопротивление ΔP_r , кг/см ²	5,17	3,3	2,0	1,4
Температура уходящих газов $t_{ух}$, °С	183	187	128	103
Аэродинамическое сопротивление ΔH , кг/м ²	52	85,5	141,5	97,5
Содержание в уходящих газах:				
CO ₂ , %	9,8	8,4	8,0	8,1
O ₂ , %	3,6	6,7	6,8	6,8
CO, %	0,0	0,0037	0,004	0,0023
NO _x , млн ⁻¹	–	69	109	100
Коэффициент избытка воздуха $\alpha_{ух}$	1,2	1,36	1,43	1,42
Потери тепла с уходящими газами q_2 , %	8,1	9,09	5,86	4,76
Потери тепла с химическим недожогом q_3 , %	0,0	0,013	0,015	0,009
Потери тепла в окружающую среду q_5 , %	0,33	0,81	0,77	0,79
КПД котла брутто η_k , %	91,57	89,49	93,35	94,44
Теплопроизводительность котла Q_k , Гкал/ч	8,5	7,62	8,12	8,09
Основные показатели, приведенные к номинальным теплопроизводительности ($Q_k = 8,3 \text{ Гкал/ч}$) и расходу воды через котел ($V = 104 \text{ т/ч}$)				
Гидравлическое сопротивление ΔP_r , кг/см ²	1,37	3,7	1,82	1,25
Аэродинамическое сопротивление ΔH , кг/м ²	51,0	101,2	142,0	102,5
Температура уходящих газов $t_{ух}$, °С	178,7	197	130,8	105,7
Коэффициент избытка воздуха $\alpha_{ух}$	1,23	1,36	1,40	1,38
КПД котла брутто η_k , %	91,65	89,4	93,30	94,4
Удельный расход топлива $v_{уд}$, кг у.т./Гкал	156,0	160,0	153,0	151,0
Удельный выброс CO на 1 Гкал тепла $v_{уд}(\text{CO})$, г/Гкал	0,00	93,6	101,3	57,7
Удельный выброс NO на 1 Гкал тепла, $v_{уд}(\text{NO})$, г/Гкал	–	286,8	299,5	272,0

дов азота на величину ΔNO_x по сравнению с холодным подом.

Для излучающего пода:

$$\Delta NO_x = \varphi (\omega^n, q_{mT}), \quad (4)$$

где φ — коэффициент, учитывающий конструктивные факторы камеры и режим работы топочной камеры; q_{mT} — тепловое напряжение топочного объема.

Снижение выхода оксида азота увеличивается с увеличением отношения поверхности пода к поверхности топочных экранов ω и снижением тепловой нагрузки топочного объема q_T .

Для котлов ТВГ-8 снижение выхода оксидов азота за счет излучающего пода с учетом раскрытия амбразуры горелки составляет от 16 % при 100 %-й нагрузке до 24 % при 20 %-й нагрузке котла.

В одной из котельных «Жилтеплоэнерго Киевэнерго» была проведена модернизация котла ТВГ-8М с заменой горелок на новые (МПИГ-3) и конвективной поверхности нагрева на новую из труб диаметром 32×3 мм.

В табл.2 приведены результаты испытаний котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М до и после модернизации при максимальных нагрузках, полученные в процессе испытаний, а также даны показате-

ли котлов, приведенные к номинальным показателям по теплопроизводительности ($Q = 8,3$ Гкал/ч) и расходу воды ($B = 104$ т/ч). Среднее увеличение КПД составило 3,35 %, максимальное увеличение КПД — 5,05 %.

На рис.4 изображены зависимости температуры уходящих газов t_{yx} , коэффициента полезного действия котлов η_k , аэродинамического сопротивления ΔH и экологических показателей (C_{CO} , C_{NO}) от теплопроизводительности котла (Q_k) в диапазоне всех нагрузок, которые были осуществлены при испытаниях котлов.

Анализ результатов (см. табл.2, рис.4) показал, что температура уходящих газов ниже и, следовательно, КПД выше в модернизированных котлах ТВГ-8 и ТВГ-8М по сравнению с этими же котлами до модернизации. То же самое можно сказать и о гидравлическом сопротивлении, величина которого несколько ниже в модернизированных котлах. Величины аэродинамического сопротивления котлов мало различаются (кроме модернизированного котла, змеевиковые трубы которого диаметром 32×3 мм установлены с $S_1 = 64$ мм и аэродинамическое сопротивление которого заметно выше (рис.4,б). В связи с этим при модернизации котлов не следует устанавливать трубы диаметром 32×3 мм с шагом $S_1 =$

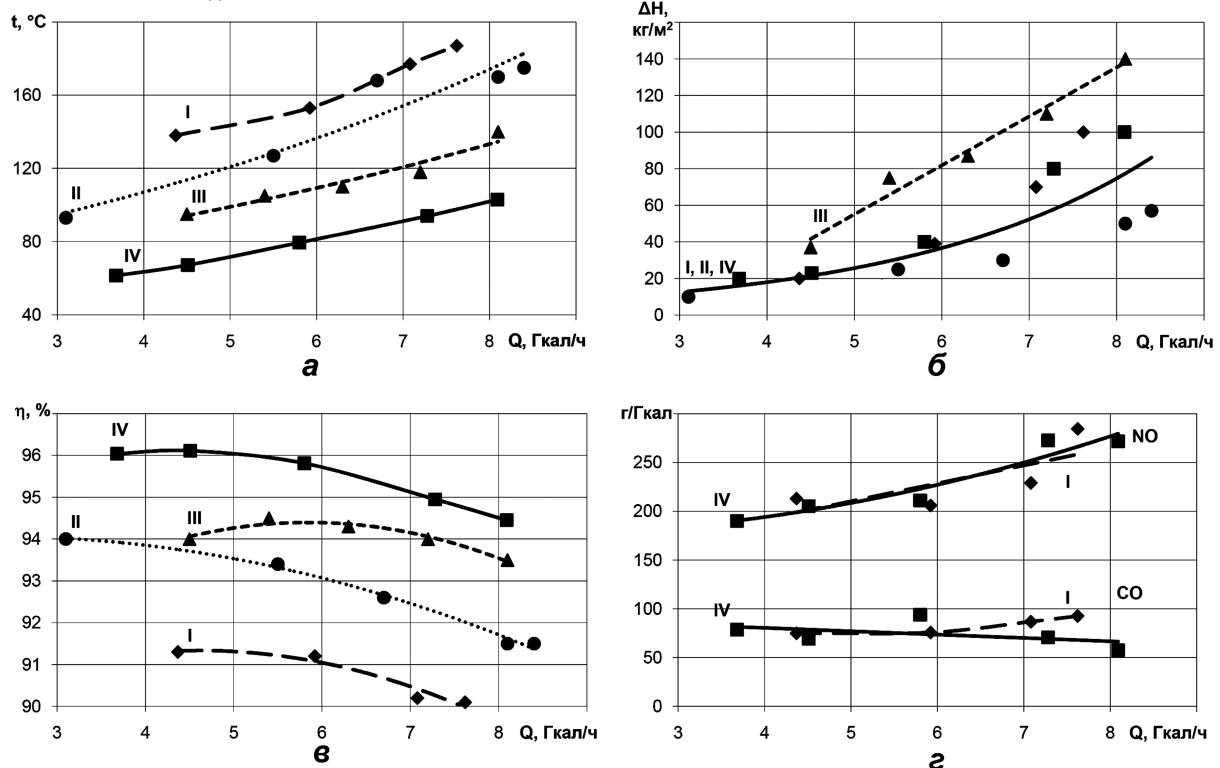


Рис.4. Результаты испытаний котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М до и после модернизации в зависимости от нагрузки: а — температура уходящих газов; б — аэродинамическое сопротивление; в — КПД котла; г — концентрации NO и CO (приведенные к $\alpha = 1$).

Таблица 3. Экономическая эффективность котлов

Показатель	ТВГ-8	ТВГ-8М
Экономия газа по котлу, тыс. нм ³ /год	120	198
Снижение выброса CO ₂ , т/год	239	392
Экономический эффект*, евро (грн/год)	2390 (27 тыс.)	3920 (44 тыс.)
Экономический эффект модернизации, грн/год	317 тыс.	519 тыс.
Затраты при полной модернизации котлов, грн	360 тыс.	360 тыс.
Замена только горелок на МПИГ-3, грн	80–100 тыс.	80–100 тыс.
Сроки окупаемости предлагаемой модернизации	20 мес	12 мес

* При цене CO₂ 10 евро/т

64 мм. Экологические показатели до и после модернизации соизмеримы между собой по концентрации вредных выбросов в уходящих газах (рис.4,г). Однако, модернизация котлов позволяет уменьшить расход газа на производство тепла и тем самым снизить валовой выброс вредных веществ по СО на 40 % и NO_x на 7–10 % (см. табл.2), снизить выброс CO₂ и таким образом уменьшить парниковый эффект. Модернизация котлов позволяет окупить затраты по ее проведению в короткий срок (1–1,5 года).

Экономическая эффективность модернизации котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М приведена в табл.3.

Согласно типовому проекту котельной с котлами ТВГ-8 (№ 903-1-53), годовое число часов использования установленной теплопроизводительности котельной на отопление и горячее водоснабжение принимается равным 3600 ч. Один модернизированный котел типа ТВГ в среднем за весь принятый продленный срок (15 лет) может сэкономить 6,27 млн грн.

Выводы

Разработана и испытана на действующих котлах схема модернизации котлов ТВГ-8М, заключающаяся в замене конвективной поверхности нагрева котла на новую из труб диаметром 32 × 3 мм, а также замены существующих подовых горелок на подовые горелки 3-го поколения МПИГ-3.

Модернизация котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М позволяет продлить срок службы котлов на 10–15 лет со сравнительно высокими технико-экономическими показателями.

Модернизация позволяет устранить некоторое различие в конструкции конвективной поверхности нагрева котлов и создать единую конструкцию — модернизированный котел ТВГ-8Р. Одна и та же модернизированная конвективная поверхность нагрева, изготовленная из змеевиковых труб диаметром 32 × 3 мм, и одни и те же новые щелевые подовые горелки 3-го поколения могут монтироваться в котлах ТВГ-8 или ТВГ-8М.

В модернизированных котлах возрастает КПД: в ТВГ-8 — на 2,05 %, в ТВГ-8М — на 3,3–5 %.

При имеющемся парке котлов типа ТВГ, нуждающихся в модернизации, ее следует проводить в первую очередь для котлов ТВГ-8М, которые по основным показателям уступают котлам ТВГ-8.

Подобную модернизацию можно разработать для котлов КВГ-7,56 и КВГ-4,65, которые серийно выпускаются Монастырищенским машзаводом с 1982 г. (к настоящему времени выпущено около 4 тыс. шт., в том числе для Украины более 600 шт.).

Список литературы

1. А.с. 173396 СССР, МПК F 24 d, F 23 f. Водогрейный котел / И.Я.Сигал, Е.М.Лавренцов, Э.П.Домбровская. — Оpubл. 21.07.65, Бюл. № 15.
2. А.с. 197915 СССР, МПК F 24 d. Котел для нагрева жидкости / И.Я.Сигал, Е.М.Лавренцов, Э.П.Домбровская, Д.Т.Вексельман. — Оpubл. 09.06.67, Бюл. № 4.
3. Сигал И.Я., Лавренцов Е.М. Газовые теплофикационные водогрейные котлы малой производительности // Водоснабжение и сан. техника. — 1968. — № 12. — С. 5–7.
4. Лавренцов Е.М., Нижник С.С., Карнаух Н.Г. Влияние двухсветных экранов и щелевых подовых горелок на выброс оксидов азота // Энергомашиностроение. — 1988. — № 10. — С. 13–15.
5. Пат. на корис. модель 51709 Укр., МПК⁸ F 24 H 1/12. Прямоточный водогрійний котел на газовому паливі / Є.М.Лавренцов, І.Я.Сігал, А.В.Сміхула та ін. — Оpubл. 26.07.10.
6. Сигал И.Я., Лавренцов Е.М. Газовые водогрейные промышленно-отопительные котлы. — Киев : Техника, 1967. — 144 с.
7. Сигал И.Я., Лавренцов Е.М., Смихула А.В., Домбровская Э.П. Разработка методов и оборудования для продления ресурса и повышения КПД действующих котлов ТВГ-КВГ, которые отапливают жилые и промышленные комплексы // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»: Зб. наук. ст. — Київ : Ін-т електроварювання ім. Є.О.Патона НАН України, 2009. — С. 339–343.
8. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. — Л. : Недра, 1988. — 311 с.
9. Захариков Н.А., Кононко В.П. Влияние светимости факела на теплопередачу в печи // Теория и практика сжигания газа. — Л. : Недра, 1964. — Вып. 2. — С. 233–255.
10. Колченогова И.П., Шорин С.Н. Интенсификация теплообмена при сжигании газа // Газ. пром-сть. — 1959. — № 2. — С. 27–33.

Поступила в редакцию 02.04.10

Water Boilers of TVG Type Modernization

*Laurentsov E.M.¹, Sigal I.J.¹,
Smikhula A.V.¹, Berezanskiy V.V.², Ovchar V.V.²*

¹ The Gas Institute of NASU, Kiev

² Stock Company «Gilteploenergo Kyivenergo», Kiev

Water boilers of TVG type service period is limited by convective heating surface of small diameter pipes (28 × 3 mm) failing and burners exchange necessity. The projects of the boilers modernization for efficiency increase and service period extension by convective heating surface manufacture of more than 28 mm diameters pipes and new slot burners MPIG-3 application are developed.

Key words: municipal heat power engineering, water boilers of TVG type, MPIG-3 slot burner, modernization.

Received April 2, 2010

УДК 678.027.3–036.5

Моделирование процесса охлаждения двухслойных гофрированных полимерных труб

Вознюк В.Т., Карвацкий А.Я., Микулёнок И.О.

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

Разработаны физическая и математическая модели процесса охлаждения двухслойных гофрированных полимерных труб при их производстве экструзией. Модели описывают процессы при одно- и двустороннем охлаждении труб.

Ключевые слова: двухслойная гофрированная полимерная труба, физическая и математическая модели, охлаждение.

Розроблено фізичну та математичну моделі процесу охолодження двошарових гофрованих полімерних труб під час їх виготовлення співекструзією. Моделі описують процеси при одно- та двосторонньому охолодженні.

Ключові слова: двошарова гофрована полімерна труба, фізична та математична моделі, охолодження.

Гофрированные полимерные трубы получили широкое применение для кабельных коммуникаций и безнапорных жидкостных систем. Наибольшее распространения в последнее время получают двухслойные полимерные трубы с внешним гофрированным слоем и с гладким внутренним. Такая конструкция стенки трубы обеспечивает значительную кольцевую жесткость при относительно небольшой материалоемкости, а гладкая внутренняя поверхность — удовлетворительные гидравлические условия движения жидкости [1].

После формирования двухслойной гофрированной трубы в ее стенке аккумулируется значительное количество теплоты, отведение которой усложняется из-за низкой теплопроводности

полимера и воздуха, содержащегося в гофрах. Особую проблему представляет отведение теплоты с внутренней поверхности гладкого слоя трубы.

Проектирование гофраторов и определение длины зоны охлаждения выполняется производителями соответствующего оборудования, базируясь на практическом опыте. Однако при использовании новых материалов и изготовлении труб с новой конструкцией стенки предыдущий опыт может быть неприемлемым, а разработка нового требует значительных затрат энергии, материальных и человеческих ресурсов. В этой связи возникает необходимость в разработке физической и математической моделей процесса охлаждения двухслойных гофри-