

## Приборы и оборудование

УДК 662.951.2

**Лавренцов Е.М.<sup>1</sup>, Сигал И.Я.<sup>1</sup>, Смихула А.В.<sup>1</sup>, Сигал А.И.<sup>2</sup>,  
Кучин Г.П.<sup>2</sup>, Скрипко В.Я.<sup>2</sup>, Быкорез Е.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт газа НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев

### Реконструкция и модернизация водогрейных и паровых котлов отопительных систем теплоснабжения (Обзор)

В коммунальной теплоэнергетике Украины эксплуатируется большое количество водогрейных и паровых котлов отечественных конструкций с КПД до 90 %. Замена котлов, которые полностью исчерпали срок эксплуатации, на новые требует больших затрат, особенно при использовании импортных конструкций. Реконструкция и модернизация отечественных котлов, находящихся в эксплуатации, с целью продления срока работы с повышением технико-экономических и экологических показателей, является актуальной задачей, решение которой дает возможность планомерно произвести замену неработающего отопительного оборудования на новое, желательное отечественное.

**Ключевые слова:** коммунальная теплоэнергетика, водогрейный котел, паровой котел.

У комунальній теплоенергетиці України експлуатується велика кількість водогрійних та парових котлів вітчизняних конструкцій з ККД до 90 %. Заміна котлів, які повністю вичерпали термін експлуатації, на нові вимагають великих витрат, особливо при використанні імпорتنих конструкцій. Реконструкція та модернізація вітчизняних котлів, що знаходяться в експлуатації, з метою подовження терміну роботи з підвищенням техніко-економічних та екологічних показників, є актуальним завданням, вирішення якого дає можливість планомерно провести заміну непрацюючого опалювального устаткування на нове, бажано вітчизняне.

**Ключові слова:** комунальна теплоенергетика, водогрійний котел, паровий котел.

В Украине в эксплуатации находится более 10 тыс. котлов НИИСТУ-5, работающих с КПД не выше 82 %, из них более 5 тыс. требуют замены [1]. Другая многочисленная серия котлов конструкции типа НИИСТУ-5 (Универсал, Надточный, Ревокатова и др.) работает с КПД еще более низким (70–80 %). Паровые котлы типа ДКВР в паровом режиме и переведенные в водогрейный режим работают с КПД

82–85%. И только отечественные котлы средней теплопроизводительности ТВГ и КВГ, разработанные Институтом газа НАНУ и выпускаемые ОАО «ТЕКОМ», работают с эксплуатационным КПД 88–90 % при расчетном 91–92 %.

Разработка и внедрение малозатратных технологий при реконструкции и модернизации отечественных водогрейных и паровых котлов, работающих в системах теплоснабжения горо-

дов и поселков Украины, с целью повышения их технико-экономических показателей до современного уровня и продления ресурса эксплуатации является актуальной задачей. Мало-затратные технологии на уровне техно-рабочих проектов, готовых ко внедрению, и технических решений на уровне эскизно-технических проектов разработаны Институтом газа НАНУ и Институтом технической теплофизики НАНУ (ИТТФ), а также ООО «Институт промышленной экологии» (ИПЭ).

### Котлы малой производительности

Котлы типа НИИСТУ-5 в настоящее время сняты с производства, но их выпуск продолжается в виде запчастей, из которых можно собрать новый котел или заменить вышедшие из строя элементы у работающих котлов. Практически отсутствие в котлах конвективных поверхностей (в качестве таковой используют оребрение наружной поверхности труб диаметром 76 мм боковых экранов, так называемых промежуточных секций) приводит к невысоким показателям КПД. Поэтому, с нашей точки зрения, все котлы подлежат реконструкции и модернизации: и еще работоспособные, и недавно введенные в эксплуатацию. Институтом газа, ИТТФ и ИПЭ разработаны технологии по повышению эффективности котлов за счет размещения в топке промежуточных излучателей и нанесения поглощающего антикоррозионного покрытия на экранные поверхности [2–4]. Введение в зону факела промышленных излучателей и более интенсивное поглощение излучений факела поглощающим покрытием экранов позволяет увеличить теплосъем топки и снизить максимальные температуры в зоне горения. При этом отмечены увеличение КПД на 2–3 % и снижение концентрации  $\text{NO}_x$  в дымовых газах.

Институтом газа, ИТТФ и ИПЭ разработаны техно-рабочие проекты реконструкции котлов НИИСТУ-5 и Надточий с установкой в конвективных газоходах котла дополнительных конвективных поверхностей и новых горелок [5–8]. В работах представлено несколько вариантов реконструкции, которые позволили увеличить КПД котла на 10 % и теплопроизводительность на 70 % с использованием щелевых подовых горелок МПИГ-ЗН, а также горелок подовых с принудительной подачей воздуха с частичным и полным предварительным смешением газа и воздуха вместо устаревших форкамерных горелок. Проект установки горелок позволяет увеличить освещенность нижней части топочных экранов, которая была закрыта

кирпичной кладкой форкамеры, и тем самым способствовать увеличению теплосъема топки. Опыт внедрения разработок в котлах НИИСТУ-5 котельных коммунальных теплосетей г.г. Черкассы, Житомир, Чернигов, Ирпень и др. доказал увеличение КПД до 91,5–92,4 %, теплопроизводительности до 0,89 Гкал/ч, снижение коэффициента избытка воздуха до 1,05–1,10, вредных выбросов по СО до 60 мг/м<sup>3</sup> и  $\text{NO}_x$  до 149,3 мг/м<sup>3</sup>. На принципиальные решения по реконструкции котлов за счет установки дополнительных конвективных поверхностей нагрева и новых горелок авторами получены патенты Украины на изобретения [9–13].

Кроме газового топлива, в котлах типа НИИСТУ-5 в основном котельных небольших предприятий используют уголь при слоевом сжигании на устаревших колосниковых решетках, не обеспечивающих равномерного распределения дутьевого воздуха по всей площади подрешеточного пространства, что снижает эффективность работы котла. В условиях высокой стоимости природного газа использование угля является экономически оправданным, но ограничивается до последнего времени отсутствием соответствующих экономичных проектов.

В ИТТФ и ИПЭ разработаны такие проекты для повышения эффективности работающих котлов на угле и при переводе котлов с газового топлива на угольное на основе запатентованных принципиальных решений сжигания твердого топлива в кипящем слое [14–15]. Установку дополнительных конвективных поверхностей нагрева и новых горелок в котлах типа НИИСТУ-5 следует производить по вышеупомянутым техно-рабочим проектам для котлов на газовом топливе и на угольном в водогрейном режиме и в паровом.

Стоимость реконструкции должна оцениваться не по стоимости самой реконструкции или модернизации, а по сроку окупаемости внедряемой работы. Стоимость реконструкции котла с установкой горелки — около 100 тыс. грн. Расчет экономического эффекта показал, что экономия стоимости газа за 3000 ч работы при установленной мощности составляет 98,84 тыс. грн/год (топливная составляющая). Экономия от увеличения теплопроизводительности связана с уменьшением капитальных затрат на установление дополнительной мощности и достигает 18,76 тыс. грн. Суммарный экономический эффект составляет  $98,84 + 18,76 = 112,6$  тыс. грн. Срок окупаемости затрат —  $100 : 112,6 = 0,89$  года, или 10,7 мес при работе на номинальном режиме.

Таким образом, работа двух реконструированных котлов может заменить работу трех нереконструированных котлов НИИСТУ-5, и в

процессе проведения программы реконструирования котлов типа НИИСТУ-5 каждый третий котел, находящийся в сравнительно худшем техническом состоянии, можно полностью демонтировать с последующей установкой при необходимости нового.

Программу по реконструкции и модернизации котлов можно проводить с участием опытных производств Института газа и ИТТФ, которые имеют свободные производственные мощности для производства работ по изготовлению дополнительных конвективных поверхностей нагрева и новых горелочных устройств. Финансирование работ может быть проведено за счет государственного бюджета или инвестиций с привлечением Министерства коммунального хозяйства. Так, инвестирование в 2 млн грн даст возможность переоборудовать около 20 котлов на предварительно выбранных объектах, а компенсация затрат возможна за счет стоимости сэкономленного котлами газа.

### Котлы средней производительности

К котлам этой категории прежде всего относятся отечественные водогрейные котлы ТВГ (ТВГ-4Р, ТВГ-8, ТВГ-8М) и котлы КВГ (КВГ-4,65, КВГ-7,56). Рабочая документация разработана Институтom газа, Монастырищенским заводом (ОАО «ТЕКОМ») и Институтom «УкрГИПРОэнерго» Минэнерго Украины на основе изобретений Института газа [16, 17]. Заводом ОАО «ТЕКОМ» выпускаются котлы ТВГ с 1965 г., КВГ — с 1982 г.; на 2002 г. выпущено котлов ТВГ 4869 шт., в том числе для Украины 810 шт., а котлов КВГ — 3660 шт., в том числе для Украины 605 шт. [18]. Завод продолжает выпускать серийно котлы КВГ, по предварительным заказам ТВГ и запчасти к ним.

Опыт длительной эксплуатации котлов ТВГ показал, что заводской срок их службы, определенный на основе нормативных данных в 14 лет, ограничивается состоянием конвективной поверхности нагрева, которую приходится менять в среднем 1 раз за 10 лет эксплуатации из-за зашлакованности и накипи на внутренней поверхности труб диаметром  $28 \times 3$  мм, из которых изготовлена поверхность. Радиационная (топочная) поверхность нагрева, изготавливаемая из труб диаметром  $51 \times 2,5$  мм или  $57 \times 3,5$  мм, служит не один десяток лет. В таких случаях конвективную поверхность заменяли на новую, изготавливая ее по заводским чертежам на местах, либо заменяли котел на новый, что влечет за собой большие расходы (демонтаж, транспортировка и монтаж нового котла, проектные работы и т.д.).

С целью продления срока эксплуатации работающих котлов ТВГ с одновременным повышением технико-экономических и экологических показателей Институт газа разработал проект реконструкции конвективной поверхности нагрева с использованием трубы диаметром  $32 \times 3$  мм вместо  $28 \times 3$  мм и проект установки новых горелок МПГ-3 вместо заводских [19]. Работа проведена по решению Главного управления топлива, энергетики и энергосбережения Киевской горадминистрации и показала значительный положительный эффект. Результаты испытания котла ТВГ-8М представлены в отчете о НИКР [20]. КПД котла достиг 94,4 % по сравнению с 91,57 % в котле ТВГ-8 и 89,49 % в котле ТВГ-8М до модернизации [21]. Поэтому при имеющемся парке котлов ТВГ, нуждающихся в модернизации, ее следует проводить (если имеется выбор) в первую очередь в котлах ТВГ-8М. Экономический эффект от модернизации котлов составляет более 300 тыс. грн для котлов ТВГ-8 и более 500 тыс. грн для котлов ТВГ-8М. Средний срок окупаемости составляет 1–1,5 года. Подобную модернизацию при необходимости целесообразно производить на котлах КВГ-4,65 и КВГ-7,56, имеющих подобную конвективную поверхность нагрева из труб диаметром  $28 \times 3$  мм и идентичные заводские подовые горелки.

К этой категории относятся и котлы типа ДКВР паропроизводительностью 2,5–10 т/ч пара. В Украине большой парк этих котлов работает в системах теплоснабжения в паровом варианте через систему пароводяных теплообменников и в водогрейном режиме, в который котлы переводят в соответствии с различными схемами и проектами. В жилищно-коммунальном хозяйстве и организациях бюджетной сферы эксплуатируется 1360 котлов типа ДКВР, оснащенных горелками ГМГ соответствующей теплопроизводительности, и почти половина этого количества (555 котлов) работает в водогрейном режиме. Проведенный Институтom газа анализ состояния этих котлов показал, что подавляющее большинство их (ДКВР-6,5-13 и ДКВР-10-13) работает на максимальной эксплуатационной нагрузке, которая меньше номинальной в 2 раза и более [22]. К тому же суммарная установленная мощность горелок обычно существенно превышает установленную мощность котла. Так, мощность двух горелок ГМГ на котле ДКВР-6,5-13 составляет 8 Гкал/ч, установленная мощность котла в водогрейном режиме в среднем составляет 2 Гкал/ч. Таким образом, каждая из двух горелок была загружена на 1 Гкал/ч, или на 25 % установленной мощности, то есть горелки работали вблизи

нижней границы регулирования и поэтому имели низкие технико-экономические и экологические показатели из-за повышенных значений коэффициента избытка воздуха.

Институт газа разработал научно-техническую документацию (НТД) по повышению эффективности работы котлов ДКВР в водогрейном режиме и реализовал ее на двух котлах ДКВР-6,5-13, установленных в котельной ПТУ-8 г. Киева. Разработка включает простые мероприятия. Левую горелку временно демонтируют, снимают сопловой аппарат, срезав носик с газовыми отверстиями, вытачивают новый с газовыми отверстиями, рассчитанными под необходимую нагрузку 2 Гкал/ч при давлении газа в нашем случае 600 кгс/м<sup>2</sup>, который приваривается на прежнее место, и на место ставится горелка. Правую горелку демонтируют, а амбразуру закрывают и уплотняют от присосов воздуха. Реконструкция горелки ГМГ-4 позволила повысить КПД до 94%, то есть более чем на 5%. Подробнее о работе горелки и котла в целом, о других мероприятиях, например, о ревизии шиберов дутьевого вентилятора и отключении 4 шиберов из 8 с целью уменьшения расхода воздуха и приведение его к потребностям работы горелки при нагрузке в 2 Гкал/ч изложено в [23].

Разработана и внедрена новая гидравлическая схема работы котла в водогрейном режиме. В отличие от известных сложных и металлоемких схем с дополнительными коллекторами, размещенными внутри по длине верхнего барабана со своими отводящими и подводящими трубопроводами, предложенная схема простая. В верхний барабан устанавливают глухую перегородку, разделяющую барабан на переднюю часть, в которую входят радиационные трубы, и заднюю часть, в которую входят трубы котельного пучка. Нижний барабан соединя-

ют с коллекторами топочных экранов. Опускные трубы ликвидируют. По этой схеме обратную воду направляют в заднюю часть барабана и по трубам котельного пучка опускают в нижний барабан, затем в коллекторы топочных экранов и через радиационные трубы воду направляют в переднюю часть барабана, из которой она поступает в теплосеть. В таком режиме два котла ДКВР-6,5-13 работают много лет. Взяв эту схему работы в качестве прототипа, Институт газа запатентовал простые и надежные схемы-способы работы котлов типа ДКВР в водогрейном режиме [24, 25].

На рис.1 представлена одна из таких схем, приближенная к схеме прототипа с обязательной установкой глухой перегородки. Сначала обратную воду из тепловой сети подают через входной патрубок 1 в переднюю часть верхнего барабана 2, из которого по трубам радиационной поверхности нагрева 3 и коллекторам поверхности 4 воду направляют в нижний барабан котла 5, а затем через вваренные в барабан трубы конвективного пучка (котловые трубы) 6 в заднюю часть верхнего барабана 7 и через выходной патрубок 8 нагретую воду направляют опять в теплосеть.

На рис.2 представлена вторая схема, по которой котел может работать в водогрейном режиме. В отличие от первой глухая перегородка отсутствует, а воду из теплосети подают через входной патрубок 1 в коллекторы 2 радиационной поверхности нагрева и через радиационные (топочные) трубы 3 в верхний барабан 4. Из барабана вода через штуцер 5, установленный в задней части барабана вблизи днища, и многократную циркуляционную систему 6, в которую включен штуцер, поступает в нижний барабан котла 7, а также через вваренные в барабан котловые трубы 8. Таким образом воду частично

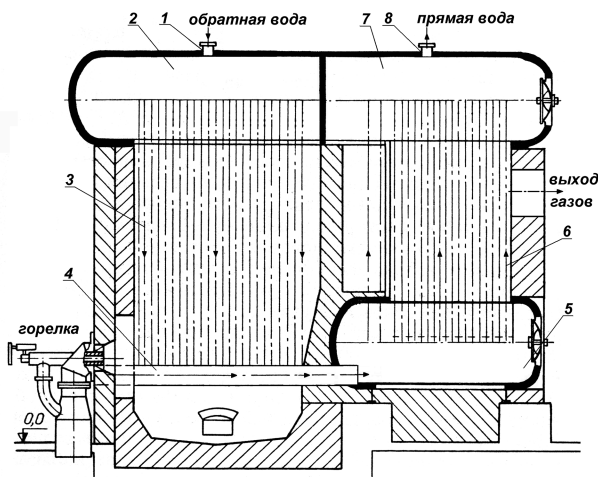


Рис.1. Схема двухбарабанного водогрейного котла [24].

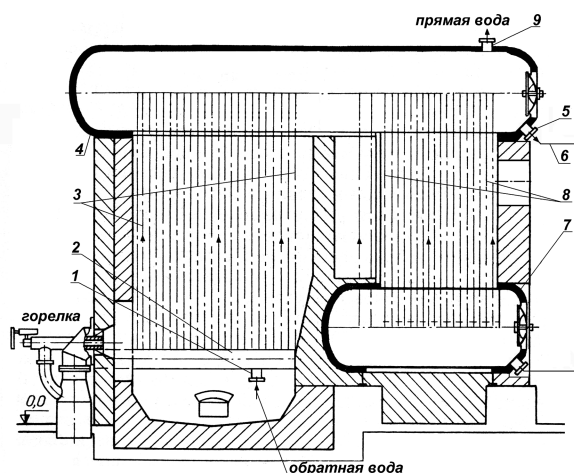


Рис.2. Схема двухбарабанного водогрейного котла [25].

нагревают в трубах радиационной поверхности, а частично в трубах конвективного пучка (котловых трубах) в процессе многократной ее циркуляции. Воду, частично нагретую в радиационной поверхности нагрева и частично в котловых трубах за счет многократной циркуляции, смешивают в верхнем барабане и через выходной трубопровод 9 направляют в теплотель.

### Котлы большой паропроизводительности

К котлам этой категории относятся широко известные пиковые котлы ПТВМ-50 и ПТВМ-100, используемые в районных системах теплоснабжения крупных городов в качестве основного источника теплоснабжения, а также котлы типа ДЕ, ТВГМ-50 и др.

Котлы типа ПТВМ первоначально предназначались в системе ТЭЦ для снятия непродолжительных пиковых теплофикационных нагрузок, то есть в пиковое время ТЭЦ способна покрыть только 50 % нагрузки, а вторые 50 % покрывают котлы ПТВМ. В качестве основного топлива запроктирован газ и в качестве резервного мазут.

По данным [26], мазут имеет зольность 0,04–0,14 %. Для удаления золы в виде сухого шлака в конструкции котлов предусмотрена холодная воронка, образованная трубами боковых экранов. Например, в котле ПТВМ-50 трубы экранов входят в нижние коллекторы, расположенные друг от друга на расстоянии в 175 мм на протяжении 4180 мм. Эта щель служит для сброса шлака при очистке холодной воронки.

Затем котлы ПТВМ стали использовать не как пиковые, а в качестве основного источника теплоснабжения в крупных районных котельных, используя газообразное топливо без мазутного резерва. При разрежении газов в топке 2 мм вод. ст. через щель размером  $0,175 \times 4,18$  м проходит объем воздуха в количестве  $V_{\text{в}} = 13430 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Этот объем увеличивает коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  на 0,18. Известно, что увеличение  $\alpha$  на 0,1 уменьшает КПД на 1 %, то есть 0,18 — это уменьшение КПД примерно на 2 %. К тому же трубная поверхность холодной воронки в лучшем теплообмене участия практически не принимает.

С целью устранения этих недостатков Институт газа разработал простую, но принципиально новую малозатратную схему реконструкции котлов ПТВМ-100 и ПТВМ-50. Для обогрева холодной воронки между нижними коллекторами устанавливается специально разработанная дополнительная подовая щелевая горелка мощностью соответственно 2600 и 1300  $\text{м}^3/\text{ч}$  [27]. В результате ее установки тепловсприя-

тие холодной воронки и нижней части топки значительно повышается (включаются в теплообмен ранее неэффективно работающее экранирование пода топки котлов), улучшается работа котлов на малых нагрузках. При этом повышается КПД котлов от 88 до 91–92 %, то есть почти на 4 % [28]. По такой схеме может быть реконструировано 100 и больше котлов ПТВМ-50 и ПТВМ-100, в том числе котлы районных котельных г. Киева «Нивки», «Отрадный», «Борщоговка» и других АК «Киевэнерго». Ожидаемая экономия газа только от увеличения КПД котлов может быть около 50 млн  $\text{м}^3/\text{год}$  при работе на установленной мощности 3000 ч/год.

Паровые котлы ДЕ с одной установленной горелкой соответствующей мощности используются часто в системах теплоснабжения коммунального хозяйства, а также для теплоснабжения предприятий различных производств с их инфраструктурой, в том числе с технологиями, в которых в качестве побочного «свалочного» продукта может быть экологически вредный продукт в виде биогаза с теплотворной способностью до 5000 ккал/ $\text{м}^3$  (например, при производстве спирта, от станции аэрации). Горелки в котлах ДЕ работают с пределом регулирования 1 : 2,5, то есть минимальная нагрузка составляет 40 % номинальной. При более низких нагрузках в летнее время, когда нагрузка покрывается только потребностями горячего теплоснабжения, котлы начинают работать в режиме вибрации и резко возрастающего значения коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  и, следовательно, уменьшения КПД.

Для возможности плавной эксплуатации котлов в широком диапазоне нагрузок без вибраций с приемлемым значением  $\alpha$ , а если необходимо со сжиганием биогаза совместно с природным газом Институт газа модернизировал существующую горелку в специальное двухколлекторное газогорелочное устройство. Сущность его заключается в установке двух коллекторов (фактически горелок) соосно в одну существующую амбразуру, причем коллектор (горелка) малого газа работает до 40 % общей мощности горелки, а основная — от 40 до 100 или 120 %, если необходимо. Эти газовые горелки могут быть установлены при ремонте или модернизации существующих горелок котлов. Замена горелок не требует переоборудования котла: горелки устанавливаются в ту же амбразуру, которая имеется в котле.

Горелочное устройство такого типа успешно прошло двухгодичную промышленную эксплуатацию в котле ДЕ-16/14 (г. Лужаны Черновицкой обл.), что обеспечило высокий КПД котла на

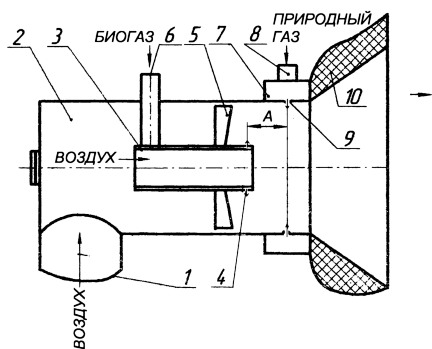


Рис.3. Двухколлекторная горелка: 1 – воздухопровод; 2 – корпус горелки; 3 – кольцевой коллектор; 4 – сопла для биогаза или газа; 5 – лопаточный завихритель дутьевого воздуха; 6 – патрубок подачи биогаза или газа; 7 – кольцевая газовая камера; 8 – патрубок для подачи газа; 9 – газовые сопла; 10 – амбразура.

разных режимах производительности и ликвидировало вибрацию, к которой склонны котлы типа ДЕ [29]. На принципиальную конструкцию получен патент Украины на изобретение [30]. На рис.3 представлена двухколлекторная горелка.

Через воздухопровод 1 воздух подают в корпус горелки 2, где он закручивается с помощью лопаточного завихрителя дутьевого воздуха 5. Биогаз или газ подается через патрубок его подачи 6 в кольцевой коллектор (труба в трубе) 3 и через сопла для биогаза или газа 4 в корпус горелки 2, где он смешивается с закрученным с помощью завихрителя 5 потоком воздуха. Природный газ (основной объем топлива) подается через патрубок 8 в кольцевую газовую камеру 7 и затем через газовые сопла 9 в корпус горелки 2, где происходит смешение смеси воздуха и биогаза или газа с природным газом. Образующаяся смесь подается в амбразуру для сжигания. Для улучшения смешения сопла 4 и 9 направлены навстречу друг другу и находятся на расстоянии  $A = 0,15 - 0,25 D$  ( $D$  – диаметр кольцевой газовой камеры 7).

При работе на низких тепловых нагрузках в летнее время через патрубок 6 вместо биогаза подают природный газ (до 40 % номинального объема), а его подачу в патрубок 8 прекращают.

### Другие разработки и мероприятия по энергосбережению

В Институте газа на основе принципиальных конструкций, описанных выше, разработаны водогрейные котлы ТВГ-1, ТВГ-1,5Р и ТВГ-2,5 расчетной теплопроизводительностью соответственно 1,0, 1,5 и 2,5 Гкал/ч. В топке котлов ТВГ-1 и ТВГ-1,5Р установлены один двухсветный экран и две щелевидные подовые горелки, а в котле ТВГ-2,5 два экрана и три горелки [31].

Эти котлы в системах теплоснабжения Украины мало используются.

На основе НТД Института газа, в том числе рабочей, было организовано производство котлов в Российской Федерации (г.г. Уфа, Казань), Узбекистане (г. Коканд), Латвийской Республике (г. Рига). Всего было выпущено более 3000 котлов. Расчетный КПД котла ТВГ-1,5Р составлял 90,85 % при теплопроизводительности 1,6 Гкал/ч (1,76 МВт), котла ТВГ-2,5 – 91,78 % при 2,5 Гкал/ч (2,9 МВт) [32].

Котлы типа НИИСТУ-5, исчерпавшие полностью свой ресурс, при проведении реконструкции и модернизации обычно демонтируют и заменяют на новые, желательны отечественные. Эту проблему можно решить за счет водогрейных котлов типа ТВГ. Как показал опыт изготовления и эксплуатации в России и других странах СНГ, котлы очень простые по конструкции, ремонтоспособны и удобны и поэтому надежны в длительной эксплуатации.

Изготовление котлов для Украины может быть организовано в опытном производстве Института газа, имеющего опыт изготовления котлов ТВГ-1 и ТВГ-2,5. В начале 1990-х гг. были изготовлены три котла ТВГ-2,5 для котельной дома отдыха «Пуца Водица» Главного Управления делами Кабмина Украины и два котла ТВГ-1 для котельной резиденции Президента Украины «Міжгір'я». За 15-летнюю эксплуатацию обращений с рекламациями о работе котлов в адрес Института газа не поступало.

Предприятием «Ленпромгаз» были разработаны блочные инжекционные горелки (БИГ). Достоинство горелок – работа без дутья при небольшом разрежении в камере горения топки 0,5–1,0 кгс/м<sup>2</sup>. Горелки устанавливались на вертикальные стенки котлов ДКВР. Со временем их начали ставить на фронтальные стенки котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М. Главный недостаток – большой шум при эжекции газом воздуха через входные патрубки, находящиеся за обмуровкой котла прямо в воздушном пространстве котельной.

Разработан принципиальный проект установки горелок БИГ в поду топки по типу щелевых подовых горелок. Горелки бывают в одно-, двух- и трехрядном исполнении. При их работе исчезает шум, так как эжектируется воздух уже не непосредственно из котельной, а из подгорелочного воздушного канала, куда воздух поступает через регулировочные шиберы из помещения котельной. Шиберы помогают дозировать расход воздуха при производстве пуско-наладочных работ. Один из вариантов проекта предусматривает двухстадийное сжигание газа для снижения вредных выбросов [33, 34].

В Институте газа разработаны техно-рабочие проекты установки однорядных горелок БИГ в котлах ТВГ-1,5Р, ТВГ-2,5, ТВГ-4Р и ТВГ-8. По НТД на заводе «Казаньэнергокоммаш», кроме котлов ТВГ-1,5Р и ТВГ-2,5 (котлы выходили под марками КСВ-1,86Г и КСВ-2,9Г), наряду со щелевыми подовыми горелками был организован выпуск горелки БИГ-1-13 (однорядная с 13 единичными элементами) для котлов КСВ.

В течение 1989–1990 гг. горелками БИГ были оснащены котлы КСВ котельных ПО «Вологдаоблкомунэнерго» и отопительных котельных г. Саранска Республики Мордовия. Все котлы КСВ Казанским заводом-изготовителем поставлялись вместе с горелками БИГ.

Институт газа также имеет опыт внедрения горелок БИГ на котлах ТВГ. Так, на основе разработанного проекта в начале 1990-х гг. были установлены горелки БИГ-1-14 (однорядная с 14 единичными элементами) в котлах ТВГ-4Р №№ 1, 2 котельной Боярского линейно-производственного Управления магистральных газопроводов [35]. После одного года работы котлов с горелками БИГ были ликвидированы дутьевые вентиляторы, что дало возможность на одном котле экономить 15000 кВт·ч/год. Разработаны технические решения по использованию горелки БИГ в котлах ТВГ-4,65, ТВГ-7,56, ТВГ-8.

### Выводы

Для Украины в условиях увеличения стоимости топливно-энергетических ресурсов особенно актуальными являются реконструкция и модернизация отечественного отопительного оборудования в системах теплоснабжения с одновременным повышением технико-экономических и экономических показателей до современного уровня и с продлением срока его эксплуатации, что является альтернативой необходимости увеличения (наращивания) мощности только за счет нового оборудования.

Решить задачу в сравнительно короткий срок позволят малозатратные проекты, разработанные Институтом газа и ИТТФ НАНУ, ИПЭ по реконструкции и модернизации водогрейных котлов НИИСТУ-5, ТВГ и КВГ.

Расчет перспективной экономической эффективности внедрения проектов показал следующие результаты: а) по котлам НИИСТУ-5 – 112,6 тыс. грн × 5 тыс. котлов = 563 млн грн; б) по котлам КВГ – 400 тыс. грн × (6,5 + 4) / (2 × 8 × 3) 605 котлов = 153 млн грн; в) по котлам ТВГ – 400 тыс. грн × 810 котлов = 324 млн грн; г) общая экономия – (563 + 153 + 324) млн грн = 1040 млн грн ≈ 1 млрд грн; д) экономия газа – 1040 : 3352 грн = 310,2 млн м<sup>3</sup>.

Энергосберегающие проекты, разработанные Институтом газа НАНУ по реконструкции котлов типа ДКВР, требуют небольшого объема работ по модернизации только соплового аппарата горелок и при необходимости – реализации совсем простой схемы перевода котлов в водогрейный режим.

Горелки БИГ подового размещения и горелки с поосным и частичным предварительным смесеобразованием также подового размещения, как и горелки МПИГ-3, могут использоваться в вышеназванных котлах при их реконструкции или модернизации.

Организация производства котлов КСВ-1, КСВ-1,76, КСВ-2,9 в Украине (на опытных производствах Институт газа и ИТТФ или на Монастырищенском машзаводе) поможет просто решить вопрос о замене котлов типа НИИСТУ-5 и других котлов небольшой мощности вышедшими из строя отечественными котлами, а не дорогими импортными водогрейными, стоимость только газогорелочного устройства которых соизмерима со стоимостью нашего целого котла.

### Список литературы

1. Сигал І.Я., Домбровська Е.П., Сміхула В.А. та ін. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужності // *Екотехнології та ресурсосбереження*. – 2003. – № 6. – С. 76–79.
2. Пат. 28757А Укр., МПК<sup>7</sup> F 23 D 14/12. Нагрівальний пристрій для топкової камери котла / І.Я.Сігал, А.В.Марковський, А.В.Овчар та ін. – Опубл. 16.10.01, Бюл. № 5.
3. Деклар. пат. на корис. модель 10950 Укр., МПК<sup>7</sup> В 05 D 1/38. Склад для покриття теплообмінних поверхонь / Г.П.Кучин, В.Я.Скрипко, Є.М.Лавренцов та ін. – Опубл. 15.12.05, Бюл. № 12.
4. Деклар. пат. на корис. модель 15472 Укр., МПК<sup>8</sup> В 05 D 1/38. Спосіб одержання покриття / А.В.Власюк, Г.П.Кучин, В.Я.Скрипко та ін. – Опубл. 17.07.06, Бюл. № 7.
5. Власюк А.В., Скрипко В.Я., Кучин Г.П. та ін. Підвищення ефективності використання палива в опалювальних котлах малої продуктивності // *Міське господарство України*. – 2005. – № 1. – С. 25–29.
6. Кучин Г.П., Скрипко В.Я., Сігал А.І. і др. Повышение эффективности работы отопительных котлов мощностью до 1 МВт // *Пром. теплотехника*. – 2008. – Т. 30, № 2. – С. 55–59.
7. Сигал І.Я., Лавренцов Е.М., Сігал А.І. і др. Модернізація водогрейних отопительних котлів потужністю до 1 МВт // *Енерготехнології та ресурсосбереження*. – 2010. – № 2. – С. 19–23.

8. Сігал І.Я., Лавренцов Є.М., Косенко А. І., Скрипко В.Я. Звіт згідно Договору № 5-1/2000 від 31 липня 2000 р. з Державним Комітетом України з енергозбереження. — Київ, 2000 р. — 85 с.
9. Пат. 30902А Укр., МПК<sup>6</sup> F 24 Н 1/00. Котел водогрійний / Є.М.Лавренцов, Г.П.Кучин, В.Я.Скрипко та ін. — Оpubл. 15.12.2000, Бюл. № 7.
10. Пат. 36402А Укр., МПК<sup>7</sup> F 24 Н 1/00. Котел водогрійний / Є.М.Лавренцов, Г.П.Кучин, В.Я.Скрипко та ін. — Оpubл. 16.04.01, Бюл. № 3.
11. Пат. 54171А Укр., МПК<sup>7</sup> F 24 Н 1/00. Котел / В.Я.Скрипко, Г.П.Кучин, Є.М.Лавренцов, та ін. — Оpubл. 17.02.03, Бюл. № 2.
12. Пат. 38417А Укр., МПК<sup>7</sup> F 23 С 11/02. Блочний пальник / А.В.Власок, Г.П.Кучин, В.Я.Скрипко та ін. — Оpubл. 15.05.01, Бюл. № 4.
13. Пат. 48779А Укр. МПК<sup>7</sup> F 23 С 11/02. Пальник газовий інжекційний / В.Я.Скрипко, Г.П.Кучин, Є.М.Лавренцов та ін. — Оpubл. 15.08.02.
14. Пат. на корис. модель 41779 Укр., МПК<sup>8</sup> F 23 С 10/00. Спосіб спалювання твердого палива / В.Я.Скрипко, Г.П.Кучин, І.Я.Сігал та ін. — Оpubл. 10.06.09, Бюл. № 11.
15. Пат. на корис. модель 42761 Укр., МПК<sup>8</sup> F 23 В 90/00. Спосіб спалювання твердого палива у псевдозрідженому шарі / В.Я.Скрипко, Г.П.Кучин, І.Я.Сігал та ін. — Оpubл. 27.07.09, Бюл. № 14.
16. А.с. 173396 СССР, МПК F 24 d. Водогрейный котел / И.Я.Сигал, Е.М.Лавренцов, Э.П.Домбровская. — Оpubл. 21.07.65, Бюл. № 15.
17. А.с. 197915 СССР, МКИ F 24 d. Котел для нагрева жидкости / И.Я.Сигал, Э.П.Домбровская, Е.М.Лавренцов и др. — Оpubл. 09.06.67, Бюл. № 13.
18. Лист № 44-252 від 28.03.02 ВАТ «ТЕКОМ» на адресу Інституту газу.
19. Пат. на корис. модель 51709 Укр., МПК<sup>8</sup> F 24 Н 1/12. Прямоточний водогрійний котел на газовому паливі / Є.М.Лавренцов, І.Я.Сігал, А.В.Сміхула та ін. — Оpubл. 26.07.10, Бюл. № 14.
20. Сігал І.Я., Лавренцов Є.М. Звіт про виконання НДКР за договором № 55-7 від 08.10.2007 : На замовлення Головного управління палива, енергетики та енергозбереження КМДА з Інститутом газу НАНУ. — Київ, 2007.
21. Лавренцов Е.М., Сигал И.Я., Смихула А.В. и др. Модернизация водогрейных котлов ТВГ // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 6. — С. 70–75.
22. Лавренцов Е.М., Сигал И.Я., Куц В.П. и др. Повышение эффективности паровых котлов типа ДКВР, работающих в водогрейном режиме // Экологические и ресурсосбережение. — 2006. — № 2. — С. 23–28.
23. Сігал І.Я., Лавренцов Є.М., Куц В.П. та ін. Звіт про виконання НДКР за договором № 81-2002-4МЗ від 12.04.2002 : На замовлення Держкоменергозбереження України з Інститутом газу НАНУ. — Київ, 2003. — С. 52.
24. Пат. на корис. модель 55906 Укр., МПК<sup>8</sup> F 24 Н 1/12. Спосіб роботи двобарабанного водогрійного котла / Є.М.Лавренцов, Г.С.Марченко, А.В.Сміхула, В.О.Макаренко. — Оpubл. 27.12.10, Бюл. № 24.
25. Пат. на корис. модель 57338 Укр., МПК<sup>9</sup> F 24 Н 1/12. Спосіб роботи двобарабанного водогрійного котла / Є.М.Лавренцов, Г.С.Марченко, А.В.Сміхула, В.О.Макаренко. — Оpubл. 25.02.11, Бюл. № 4.
26. Энергетическое топливо СССР : Справ. — М : Энергия, 1979. — 124 с.
27. Пат. на корис. модель 52028 Укр., МПК<sup>8</sup> F 23 D 14/22. Пальник для спалювання газу / І.Я.Сігал, О.І.Сігал, А.В.Сміхула та ін. — Оpubл. 10.08.10, Бюл. № 15.
28. Сигал И.Я., Смихула А.В. Модернизация котлов городских котельных и ТЭЦ // Энергоэффективность-2010 : Сб. науч. тр. — Киев : Ин-т газа НАНУ, 2010. — С. 71–73.
29. Сигал И.Я., Смихула А.В. Снижение выброса NO<sub>x</sub> и повышение эффективности работы котлов при сжигании природного газа // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики : Тр. XX конф. стран СНГ с междунар. участием, 2010. — С. 214–217.
30. Пат. 89870 Укр., МПК<sup>8</sup> F 23 D 14/00. Пальниковый пристрій для спільного спалювання природного газу і біогазу / І.Я.Сігал, О.І.Сігал, В.О.Колчев. — Оpubл. 10.03.10, Бюл. № 5.
31. Сигал И.Я., Лавренцов Е.М., Косинов О.И. Исследование работы и опыт эксплуатации водогрейных котлов ТВГ // Повышение эффективности и безопасности использования газа : Сб. науч. тр. — Л. : Недра, 1972. — С. 46–54.
32. Лавренцов Е.М., Левицкий Е.И., Пасков В.В., Нижник С.С. Газовые водогрейные котлы малой мощности // Реф. сб. Мингазпрома СССР. Сер. Использование газа в народном хозяйстве. — М., 1979. — Вып. 5. — С. 18–26.
33. Пат. 2018768 РФ, МКИ<sup>5</sup> F 23 D 14/22. Блочная инжекционная горелка / Е.М.Лавренцов. — Оpubл. 30.08.94, Бюл. № 16.
34. Пат. 51833 Укр., МПК<sup>7</sup> F 23 D 14/22. Блочний інжекційний пальник / Є.М.Лавренцов, І.Я.Сігал, В.Я.Скрипко, Г.П.Кучин. — Оpubл. 16.12.02, Бюл. № 12.
35. Лавренцов Е.М., Домбровская Э.П., Овчар В.М., Косенко А.И. Отчет о работе по Договору № 21/9 от 21 сентября 1995 г. Шеф-монтаж горелок БИГ в котле ТВГ-4Р № 2 и проведение пусковых работ (ПНР) и режимно-наладочных испытаний (РНИ). Заказчик: Боярское ЛПУМГ. Исполнитель СКТБ «Промэнергоэкология».

Поступила в редакцию 12.03.12



**Lavrenzov E.M.<sup>1</sup>, Sigal I.Ya.<sup>2</sup>, Smikhula A.V.<sup>1</sup>, Sigal A.I.<sup>2</sup>,  
Kuchin G.P.<sup>2</sup>, Skripko V.Ya.<sup>2</sup>, Bykorez E.I.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> The Gas Institute of NASU, Kiev

<sup>2</sup> Institute of Technical Thermophysics of NASU, Kiev

## **Reconstruction and Modernization of Water-Heating and Steam Boilers in Heat-Systems (Review)**

In the municipal power system of Ukraine operates a large number of hot water and steam boilers of domestic designs with efficiency up to 90%. The substitution of boilers which are completely operationally exhausted by new demands large expenses, especially when using imported designs. The reconstruction and modernization of operable domestic boilers in order to extend they work period and to increase technical, economic and environmental indicators is an urgent task enables to make systematically replacement malfunctioning heating equipment on new, preferably domestic.

**Key words:** municipal power system, water-heating boiler, steam boiler

Received March 12, 2012

УДК 666.09.4

**Торчинский А.И.<sup>1</sup>, Ляшко А.Ю.<sup>1</sup>, Крячок Ю.Н.<sup>1</sup>, Кореба С.А.<sup>2</sup>,  
Тараненко П.И.<sup>3</sup>, Робачук П.А.<sup>3</sup>, Щербина А.М.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Институт газа НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> ОАО «Житомирском комбинат силикатных изделий»

<sup>3</sup> ЗАО «Таврийська будівельна компанія», Херсон

<sup>4</sup> ОАО «Запорожский производственный алюминиевый комбинат»

## **Новое оборудование для интенсификации теплообмена в шахтных печах производства извести**

Рассмотрены основные особенности конструкции печей для обжига известняка. Выполнен анализ влияния теплотехнологических и аэродинамических параметров на интенсификацию процесса обжига и снижение расхода природного газа при производстве извести. Предложен комплекс нового оборудования для интенсификации обжига, которое внедрено на некоторых предприятиях Украины. Произведена оценка теплотехнологических и экономических показателей предложенного способа обжига по сравнению с традиционным способом.

**Ключевые слова:** шахтная печь, обжиг известняка, скоростное газогорелочное устройство серии ГС, качество обжига.

Розглянуто основні особливості конструкції печей для випалення вапняку. Зроблено аналіз впливу теплотехнологічних та аеродинамічних параметрів на інтенсифікацію процесу випалу та зниження витрат природного газу при виробництві вапна. Запропоновано комплекс нового устаткування для інтенсифікації випалу, яке упроваджено на деяких підприємствах України. Зроблено оцінку теплотехнологічних та економічних показників запропонованого способу випалу у порівнянні з традиційним способом.

**Ключові слова:** шахтна піч, випал вапняку, швидкісний газопальниковий пристрій серії ГС, якість випалу.