

Лавренцов Є.М., Сігал І.Я., докт. техн. наук, проф.,
Сміхула А.В., канд. техн. наук, **Домбровська Е.П.,** канд. техн. наук,
Кернажицька О.С., Марасін О.В., канд. техн. наук

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: isigal@ukr.net

Досвід розробки, впровадження та модернізації водогрійних котлоагрегатів з двосвітними екранами та щільними подовими пальниками

Показано, що у газових котлах рівномірне підведення тепла по глибині (ширині) топкової камери за рахунок використання подових щільних пальників підвищує їх ресурс на строк понад 40 років. Причому використання двосвітних екранів дає можливість суттєво збільшити теплонапругу топкового об'єму, залишаючи незмінними об'єм топкової камери та температуру димових газів на виході з топки при одночасному зниженні викидів оксидів азоту. Котли потужністю 1–10 МВт із вищевказаними технічними рішеннями конструкції Інституту газу НАН України із загальною тепловою потужністю більше 60 ГВт продовжують випускатися та експлуатуватися в Україні та країнах СНД, причому щодо викидів оксидів азоту встановлені котли відповідають новій директиві ЄС (EU) 2015/2193. Показано, що застосування газових подових щільних пальників у порівнянні з базовими заводськими вихровими типів ГМГ чи ГМГБ, що встановлені на багатьох котлах, дає можливість знизити викиди оксидів азоту орієнтовно на 15 %. Розроблено проект реконструкції котлів ТВГ-8 (ТВГ-8М) та КВГ-7,56 зі збільшенням площі конвективної поверхні заміною заводської труби діаметром 28×3 на 32×3 мм. Передбачено використання удосконалених щільних подових пальників, що оснащені каліброваними соплами для точного дозування природного газу в повітря. У результаті дослідного випробування реконструйованих котлів на протязі 3–5 років показано, що ці технічні рішення дають можливість підвищити енергоефективність існуючих котлів ТВГ та КВГ до сучасного європейського рівня — 94–95 % на номінальній теплопродуктивності. *Бібл. 18, рис. 4, табл. 5.*

Ключові слова: котли, горіння, ресурс, оксиди азоту, енергоефективність.

Концепція теплозабезпечення житлових та промислових об'єктів міст СРСР з середини 1950-х рр. передбачала широке використання тепла від ТЕЦ, районних та квартальних котельень. Тільки у разі неможливості підключення до централізованого опалення застосовувалася котельня індивідуального опалення (наприклад, віддалене від теплотрас промислове підприємство, гуртожиток, школа, санаторій чи ін.). Причому на першому етапі забудови районів міст встановлювалися переважно газомазутні котли типу ПТВМ-30, 50, 100 Гкал/год, які мали згодом бути замінені паровими котлами на ТЕЦ, а потужні водогрійні котли мали використовуватися лише як пікові у разі потреби [1].

З введенням в експлуатацію газопроводу Дашава — Київ наприкінці 1948 р., а також з поступовим розвитком газових мереж в Україні та СРСР почалося переобладнання на природний газ котлів, які до цього працювали переважно на твердому паливі (ДКВР-2,5; 4; 6,5; 10; 20 т пари/год), з пароводяними теплообмінниками та великою кількістю водогрійних котлів типу НІИСТУ-5, Надточія, Ревокатова, Универсал, Минск-1 та ін. теплопродуктивністю до 1 Гкал/год та з температурою води на виході до 115 °С. Інститут газу НАН України був одним з головних розробників проектів переобладнання твердопаливних котлів на природний газ; ККД переобладнаних котлів знаходився в діапазоні 80–90 % [2].

Концепція побудови виключного газового котла із застосуванням двосвітних екранів та подових пальників

На початку 1960-х рр. виникла необхідність розробки виключних газових котлів потужністю 4–10 МВт для комплектування квартальних котельень віддалених невеликих масивів, а також малих міст через недоцільність побудови у них ТЕЦ, наприклад, шахтарських міст Донбасу. Інститутом газу НАН України під керівництвом докт. техн. наук, професора І.Я.Сігала (відповідальні виконавці Є.М.Лавренцов, Е.П.Домбровська) розроблено принципову конструкцію спеціальних водогрійних котлів на природному газі [3]. Вказана конструкція котла була вдосконалена стосовно до використання замість води органічного теплоносія [4]

Основні принципові рішення, закладені в основу конструкції котлів: 1) радіаційна поверхня нагріву топку має ряд настінних та двосвітних екранів з прямих вертикальних труб, розміщених між щілинними подовими пальниками; 2) з метою рівномірного розподілу теплового навантаження вздовж топкових екранів довжина щілинного подового пальника вибирається приблизно рівною довжині топкового бокового та двосвітного екрану; 3) подовий пальник виконаний у вигляді труби газового колектору з двома рядами отворів-сопел малого діаметра, розміщеної горизонтально у спеціальній щілині-стабілізаторі з вогнетривкої цегли; 4) з метою ефективного

використання конвективної поверхні нагріву швидкість продуктів згоряння палива у конвективному газоході вибрана ≥ 6 м/с; 5) котел має бути максимально ремонтпридатним з можливістю проведення заміни конвективної частини під час капітального ремонту, а ресурс котла визначається за ресурсом топкових екранів.

Відповідно до вищевикладених принципових рішень Інститутом газу НАН України разом з Інститутом «УкрДІПРОенерго» Міністерства енергетики та електрифікації УРСР та Монастирищенським машинобудівним заводом було розроблено науково-технічну та робочу документацію щодо водогрійних котлів ТВГ-4, ТВГ-4Р, ТВГ-8, ТВГ-8М та разом з відділом малих котлів Всесоюзного науково-дослідницького інституту атомного машиностроєння (ВНИИАМ) – водогрійні котли КВГ-4,65 та КВГ-7,56 теплопродуктивністю 4,4; 8; 4; 6,5 Гкал/год (далі – котли ТВГ та КВГ).

На рис.1 зображено найбільш розповсюджений типорозмір котлоагрегату ТВГ-8 (ТВГ-8М) із встановленими подовими щілинними пальниковими пристроями.

Більш детальний опис конструкції котлів представлений у роботі [2]. Основні техніко-економічні показники котлів згідно теплових, гідравлічних та аеродинамічних розрахунків, які щодо котлів типу ТВГ розроблені Інститутом газу НАН України та щодо котлів типу КВГ з деяким зменшенням площі конвективної частини котлів (з метою економії металу) – конструкторським бюро (КБ Монастирищен-

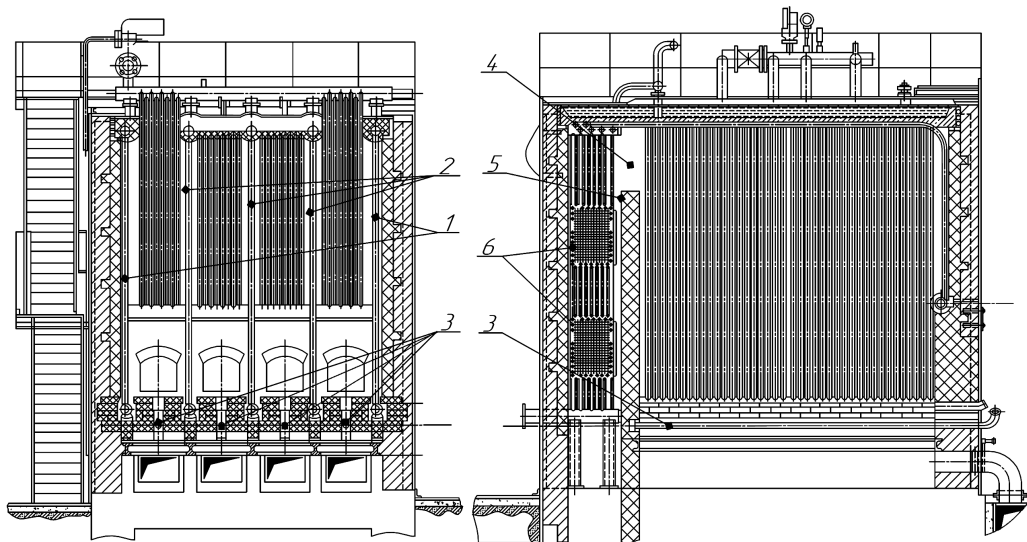


Рис.1. Принципова конструкція котла ТВГ-8 (ТВГ-8М) з двосвітними екранами та щілинними подовими пальниками: 1 – топкові бокові екрани; 2 – двосвітні топкові екрани; 3 – чотири пальникові пристрої; 4 – газове вікно, що з'єднує топку та конвективну шахту; 5 – цегляна перегородка між топкою та конвективною шахтою; 6 – конвективні пакети (верхній та нижній).

Таблиця 1

Показник	ТВГ-4	ТВГ-4Р	ТВГ-8, ТВГ-8М	КВГ-4,65	КВГ-7,56
Теплопродуктивність, Гкал/год	4,3	4,3	8,36	4,0	6,5
Кількість двосвітних екранів, шт.	3			2	
Діаметр труб топкових екранів, мм	51×2,5*				
Діаметр труб конвективної поверхні, мм	51×2,5	28×3	28×3	28×3	28×3
Швидкість газів в конвективній шахті, м/с	6,3	9,7	8,13	11,0	9,14
Співвідношення променевого та конвективного тепла, %/ %	70/30	63/37	60/40	61/39	59/41
Аеродинамічний опір, кгс/м ²	40	56	43,9	98	75
Гідравлічний опір, кгс/м ²	3,9	0,98	0,98	0,87	0,90
Коефіцієнт надлишку повітря	1,25	1,18	1,18	1,18	1,18
Температура відхідних газів, °С	210	197	180	140	140
ККД котла, %	90,0	90,5	90,3	92,2	92,2

* При необхідності можна використовувати труби діаметром 57×3,5 мм.

ського машинобудівного заводу), наведено у табл.1. В Інституті газу НАН України розроблено серію водогрійних котлів теплопродуктивністю до 3 Гкал/год, які були широко впроваджені в Уфі, Казані, Ташкенті та інших містах СРСР. Принципова конструкція, перш за все, топок котлів подібна до конструкцій топок котлів типу ТВГ та КВГ [2]. У табл.2 наведені основні розрахункові дані, а у табл.3 — результати випробувань котлів ТВГ-1,5Р та ТВГ-2,5 (типорозмір КСВ).

Випробування та досвід впровадження котлів ТВГ та КВГ

Приймальні випробування головного зразку котла ТВГ-4 відбулися 19 грудня 1964 р. у м. Дніпропетровську (м. Дніпро) в котельні 3-го мікрорайону Новомосковського житлового селища, а котла ТВГ-8 — 12 листопада 1965 р. у м. Києві в котельні Ломоносово-Коломійовського житлового масиву.

Приймальні випробування головних зразків котлів КВГ-4,65 та КВГ-7,56 відбулися 26 березня 1981 р. у котельні філіалу Московського інженерно-будівельного інституту в м.Ми-

тищі Московської обл. Показники, отримані при балансових випробуваннях котлів, проведенних 6–11 березня, більш адекватні до реальних показників (табл.4).

Як бачимо (див. табл.1, табл.4), показники котлів типу ТВГ при приймальних випробуваннях майже відповідають розрахунковим даним, а показники котлів типу КВГ щодо приймальних та розрахункових даних мають помітну розбіжність. При цьому ці показники ККД були отримані при теплопродуктивності котлів 2,91 та 5,22 Гкал/год, тобто при розрахунках теплопродуктивності ККД буде ще меншим.

Котли типу ТВГ, КВГ та КСВ мають у середньому ККД близько 90 %, що на той час відповідало сучасному рівню. Виготовлення конвективної поверхні з труб діаметром 28×3 мм дає можливість отримати питому витрату металу під тиском до 1 т/Гкал/год, що на понад 25 % менше, ніж при використанні для виготовлення конвективної поверхні труб діаметром 51×2,5 та 57×3,5 мм.

Крім дослідного (головного) зразка котла ТВГ-4, завод-виробник виготовив усього декілька десятків котлів ТВГ-4, які були впроваджені в основному в тепломережах м. Донецька («До-

Таблиця 2

Показник	ТВГ-1,0 (КСВ-1,163)	ТВГ-1,5Р (КСВ-1,86)	ТВГ-2,5 (КСВ-2,9)	ТВГ-2,7 (КСВ-3,15)
Теплопродуктивність, Гкал/год	1,0	1,6	2,5	2,7
Потужність, МВт	1,163	1,86	2,9	3,15
Кількість двосвітних екранів, шт.	1	1	2	2
Теплознімання з 1 м ² поверхні	26	26,3	26,3	29,57
Гідравлічний опір, гс/см ²	1,44	0,339	1,23	0,71
Аеродинамічний опір, кгс/см ²	15,5	21,0	14,2	75,0
ККД, %	91	90,85	91,78	93,0
Питому витрату металу під тиском, т/Гкал/год	1,26	1,42	1,25	1,07

Таблиця 3

Показник	ТВГ-1,5Р (КСВ-1,86)	ТВГ-2,5 (КСВ-2,9)
Теплопродуктивність, Гкал/год	1,4	2,5
Потужність, МВт	1,63	2,92
Теплознімання з 1 м ² поверхні	19,6	23,2
Гідралічний опір, кгс/см ²	0,31	1,4
Аеродинамічний опір, кгс/см ²	13,5	12,3
ККД котла, %	92	90,81
Розбіжність в ККД в порівнянні з розрахунками	-1,15	0,97

нецьктеплоенерго») та інших міст. Основні недоліки котлів — це виготовлення конвективної поверхні нагріву з труб діаметром 51×2,5 мм та відсутність стельового екрану, що призводить до перевитрат металу при виготовленні поверхні порівняно з використанням труби діаметром 28×3 мм та перегріву стельової стіни. Питома витрата металу на 1 котел становить 1,25 т/Гкал/год та близько 1 т/Гкал/год у котлах типу ТВГ та КВГ, у яких конвективна поверхня нагріву виготовляється з труб діаметром 28×3 мм. Виготовлені котли ТВГ-4 були реконструйовані за проектом Інституту газу НАН України, згідно якого була збільшена конвективна поверхня нагріву з труб діаметром 28×3 мм, через що розрахункова теплопродуктивність була збільшена до 6,3 Гкал/год. Потім по типу котла ТВГ-8 був розроблений котел ТВГ-4Р для подальшого впровадження замість котлів ТВГ-4. Випробування промислового зразка котла ТВГ-4Р, виготовленого у 1968 році, були проведені в опалювальний сезон 1970–1971 рр. разом з нашим партнером щодо приймальних випробувань котлів ТВГ-4 та ТВГ-8 ДПІ «Харківський сантехпром».

За ініціативою КБ Монастирищенського заводу котел ТВГ-8 був модернізований на котел ТВГ-8М, в якому зменшена площа конвективної поверхні нагріву з 141,9 до 109,6 м² за рахунок зменшення кількості підключених труб діаметром 28×3 мм по воді з 4 до 3 (тобто на 25 %). Компенсувати таке зменшення площі

конвективної поверхні для отримання такої ж теплопродуктивності у 8,3 Гкал/год, як у котлі ТВГ-8, планувалося більш щільним розташуванням труб з метою збільшення швидкості продуктів згоряння через зменшення живого перерізу труб (збільшення коефіцієнту теплопередачі). Випробування котлів ТВГ-8М показали, що повноцінної компенсації не було отримано, температура відхідних газів підвищилася до 300 °С, тобто в середньому на 100 °С більше від температури відхідних газів у котлах ТВГ-8, та ККД знизився на близько 2 %. До того ж щільність розташування труб та зменшення кількості паралельно підключених труб по воді впливає на збільшення аеродинамічного та гідралічного опорів. Інститут газу НАН України таку пропозицію не погодив. Але котли мали та мають успіх як більш економічні порівняно з котлами типу ДКВР, що працюють у водогрійному режимі. У той же час ця пропозиція значно зменшувала витрати металу, що було на той час позитивним рішенням.

Науково-технічна документація щодо котлів (див. табл.3) Інститутом газу НАН України була передана ПЕО «Баштеплоенерго», м. Уфа; Казанському заводу металовиробів, м. Казань; РПО «Узтеплоенерго», м. Ташкент; підприємству теплових мереж «Siltums», м. Рига. Серійне виробництво котлів було організовано на Казанському заводі металовиробів, який з часом отримав назву «Казанькоммаш», та у м. Уфа. Котли, згідно відповідному ГОСТ ССРСР, отримали назву «КСВ-котли сталні водогрійні і КСВа — автоматизовані» (далі — котли КСВ). На протязі 1970-х рр. у м. Казань випускалися котли КСВ до 400 на рік, у м. Уфа — 120–150. Усього було випущено котлів до 3 тис. В Узбекистані котли випускалися у м. Коканд, у Латвії — у м. Рига для внутрішніх потреб республік.

Відомчою комісією були проведені приймальні випробування котлів КСВ-1,86 (23 грудня 1975 р.) та КСВ-2,9 (21 березня 1978 р.). Показники випробувань в основному співпадають з розрахунковими показниками.

Таблиця 4

Показник	ТВГ-4	ТВГ-4Р	ТВГ-8	КВГ-4,65	КВГ-7,56
Теплопродуктивність, Гкал/год	4,15	4,15	8,5	2,91	5,22
Коефіцієнт надлишку повітря	1,25	1,05	1,2	1,21	1,2
Температура відхідних газів, °С	210	166	183	210	178
Витрата води, м ³ /год.	69,6	68	104	55	100
Гідралічний опір, кгс/см ²	3,9	1,16	1,37	1,1	1,6
Аеродинамічний опір, кгс/м ²	33	40,5	52	89	77
ККД котла, %	90,0	93,3	91,57	88,1	90,2
Розбіжність у ККД при порівнянні з розрахунком	0,0	2,8	1,3	-4,1	-2,0

Котли КСВ-1,63 та КСВ-3,15 виявилися незатребуваними, але науково-технічна документація котла КСВ-3,15 була надана ПО «Узтеплоенерго». У металі котел був виготовлений у 1990 р. У подальшому роботи щодо впровадження котла були зупинені через розпад СРСР.

Обґрунтування переваг використання у котлах двосвітних екранів та подових палинкових пристроїв

Застосування двосвітних екранів у котлах ТВГ та КВГ було оригінальним конструктивним рішенням, що дало можливість суттєво збільшити теплонапругу топкового об'єму без збільшення температури димових газів на виході з топки. Показано, що у межах навантаження котлів 50–100 % теплосприймання двосвітних екранів у 1,5–2 рази більше, ніж теплосприймання настінних екранів [5].

Дослідження різних конструкцій топкових камер з точки зору утворення оксидів азоту виявили, що установка двосвітних екранів також дає можливість зменшити їх утворення за рахунок підвищення ефективності теплозйому та зменшення температури у зоні горіння палива [6, 7].

Аналогічний вплив щодо пригнічення утворення оксидів азоту в порівнянні з традиційними конструкціями палинкових пристроїв мають газові щілинні подові палинкові пристрої. За рахунок того, що щілина, в якій згоряє більша частина природного газу, має температуру не більше 1100 °С, відбувається ефективне розхолодження зони горіння та утворення оксидів азоту за термічним механізмом зменшується [6, 8].

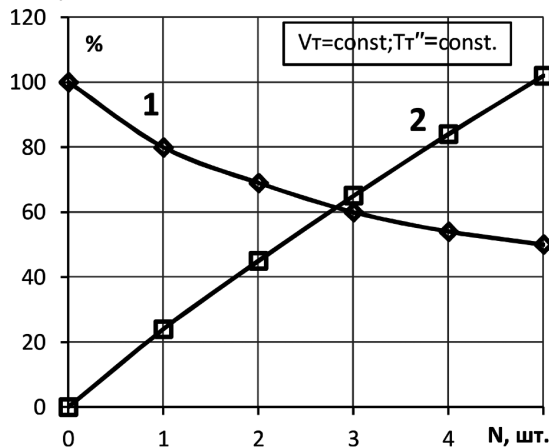


Рис.2. Залежність зменшення виходу NO_x та збільшення q_v від кількості двосвітних екранів N : 1 – зніження викидів NO_x ; 2 – збільшення теплонапруги топкового об'єму [7].

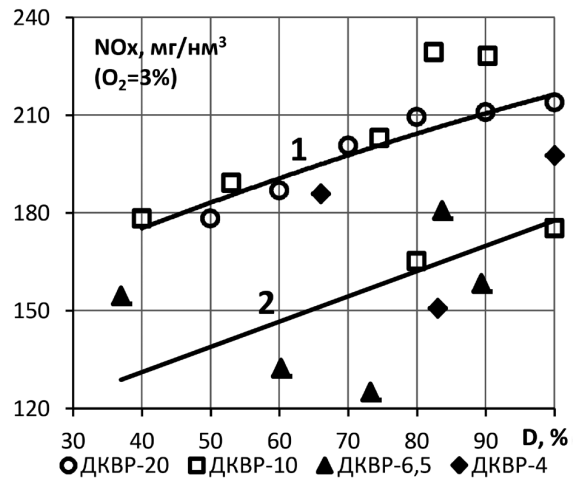


Рис.3. Залежність виходу оксидів азоту від ступеня навантаження парових котлів типу ДКВР при спалюванні природного газу; апроксимаційна крива: 1 – традиційні вихрові палинки типу ГМГ та ГМГБ; 2 – щілинні подові палинки.

На рис.2 показано, як впливає кількість двосвітних екранів у топці котла на теплонапругу топкового об'єму та викиди оксидів при незмінному об'ємі топки V_T та збереженні температури вихідних газів на виході з топки T_r'' (при цьому для збереження температури на виході з топки збільшується витрата палива, тобто зростає теплонапруга топкового об'єму q_v , МВт/м³).

На рис.3 приведена залежність викидів NO_x від навантаження парових котлів D без двосвітних екранів типу ДКВР. У котлах ДКВР-4-13 та ДКВР-6,5-13 встановлені щілинні подові палинки, вихрові у ДКВР-10-13 (типорозмір ГМГБ-5,6) та у ДКВР-20-13 (типорозмір ГМГ-5,5/7). Різниця між відповідними апроксимаційними кривими для подових та широко розповсюджених вихрових палинок у діапазоні навантаження котлів 40–100 % щодо оксидів азоту складає близько 15 %.

Ще один позитивний ефект від рівномірного підведення тепла по глибині топкової камери вздовж двосвітних екранів при застосуванні подових щілинних палинкових пристроїв виявився у збільшенні терміну служби котлів, особливо топкових екранів, за якими визначається ресурс котла. Так, товщина стінки металу топкових та двосвітних екранів котлів ТВГ та КВГ після багаторічної експлуатації відповідає допустимій. Також відсутні розриви екранних труб на відміну, наприклад, від котлів ПТВМ з вихровими палинками чи інших [9]. Тобто дійсний ресурс топкових екранів котлів ТВГ та КВГ складає понад 40 років при заводському

призначеному ресурсі 15 років (планово замінюється лише конвективна частина). Крім того, екологічні характеристики встановлених котлів ТВГ та КВГ на даний час відповідають європейській директиві щодо викидів шкідливих речовин при спалюванні природного газу в котлах середньої потужності (NO_x не більше 200 мг/м^3 при $3\% \text{ O}_2$) [10].

Розробка та впровадження котлів типу ТВГ, КВГ та КСВ у системі тепlopостачання були включені у роботу «Комплекс технологій і обладнання для енергоефективного виробництва та постачання тепла (розробка, апробація, впровадження)», виконану спільно Інститутом технічної теплофізики та Інститутом газу НАН України, якій Указом Президента України за № 1548/2004 від 9 грудня 2004 р. присуджена Державна премія України в галузі науки і техніки.

Тільки до 2002 р. Монастирищенський машинобудівний завод виготовив та поставив 8529 котлів типу ТВГ та КВГ, у тому числі 1414 в Україну, загальною встановленою тепловою потужністю більше 60 ГВт. Котли поставлялися також у РФ, Узбекистан та інші республіки колишнього СРСР. Роботи по розробці та впровадженню котлів ТВГ-4, ТВГ-4Р, ТВГ-8 та ТВГ-8М були нагороджені золотою та срібними медалями на виставках ВДНГ СРСР та України, декількома винагородами Міністерства комунального господарства України.

Основні шляхи подальшої модернізації та реконструкції котлів ТВГ та КВГ

Багаторічний досвід експлуатації котлів ТВГ та КВГ показав, що їх термін безремонтної служби обмежується виходом з ладу конвективної поверхні, виготовленої з труб діаметром $28 \times 3 \text{ мм}$, через зашлакування труб малого діаметра, їх заносу та необхідності замінювати поверхню новою через 8–10 років. До того ж після орієнтовно 2004 р., зважаючи на суттєве подорожчання природного газу на європейському ринку, показники ККД щодо сучасного економічно доцільного технічного рівня складають для більшості нових котлів такої потужності, які доступні на ринку, 94–95 % [11].

Співробітники Інституту газу НАН України відповідно до отриманих патентів [12, 13] розробили та передали ПАТ «Київенерго» науково-технічну документацію щодо реконструкції котлів ТВГ-8 та ТВГ-8М з використанням труб діаметром $32 \times 3 \text{ мм}$ замість $28 \times 3 \text{ мм}$ для виготовлення конвективної поверхні, та нових пальників 3-го покоління МПІГ-3 замість завод-

Таблиця 5. Результати випробувань котла ТВГ-8М до (I) та після (II) модернізації

Параметри	I	II
Навантаження котла, %	81	99
Теплопродуктивність, Гкал/год	6,75	8,25
Витрата газу на котел, $\text{м}^3/\text{год}$	928	1056
Калорійність газу Q , ккал/ м^3	8081	8274
Витрата води через котел G , т/год	102	104
Температура води на вході у котел $t_{\text{вх}}$, °C	44	52
Температура води на виході з котла $t_{\text{вих}}$, °C	110	131
Гідрравлічний опір ΔP_k , кг/ см^2	3,1	2,5
Температура вихідних газів $t_{\text{др}}$, °C	167	117
Коефіцієнт надлишку повітря	1,57	1,2
Втрата теплоти в оточуюче середовище q_5 , %	0,91	0,75
Аеродинамічний опір ΔH , кг/ м^2	97,4	91
NO_x , мг/ м^3 (3 % O_2)	198	198
CO , мг/ м^3 (3 % O_2)	31	21
ККД котла, %	90,0	94,4

ських [14]. Так, основний середній показник ККД на номінальному навантаженні витримано на рівні 94–95 %, річний середній економічний ефект більший за витрати на повну реконструкцію, у тому числі виготовлення нових поверхонь нагріву та пальників, демонтаж заводського та монтаж нового обладнання, проведення пуско-налагоджувальних робіт.

У табл.5 наведені основні дані випробувань котла ТВГ-8М до модернізації та після її на максимальній теплопродуктивності з новою конвективною поверхнею нагріву з труби ді-

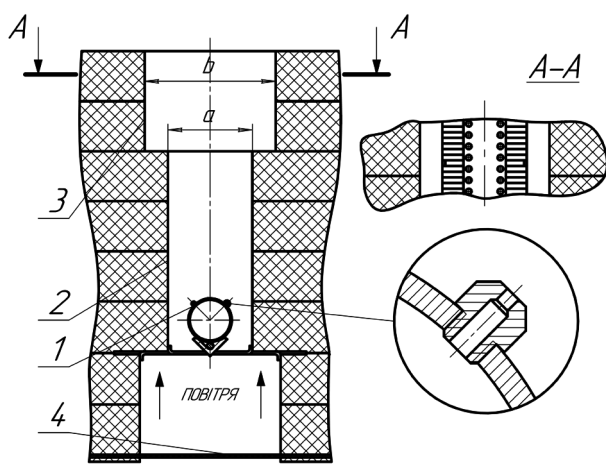


Рис.4. Принципова схема щілинного подового пальника МПІГ-3: 1 — колектор пальника з профільованими соплами; 2 — щілина з вогнетривкої цегли; 3 — канал раптового розширення; 4 — підпальниковий лист для вирівнювання епіюри повітря.

метром 32×3 мм та пальниковими пристроями типу МПИГ-3 (за такою схемою на даний час модернізовані котли КП «Київтеплоенерго», що встановлені у котельні м. Києва, вул. Чорнобильська, 25).

На рис.4 показані деякі особливості нових технічних рішень, що застосовані у подових пальникових пристроях типу МПИГ-3, які ґрунтуються, зокрема, на установці спеціальних сопел-дозаторів (замість свердлених отворів у колекторі), що дає можливість утримувати геометрію сопла (витрату природного газу пальником у залежності від тиску) незмінною на протязі усього терміну експлуатації (свердлені отвори у колекторі-трубі за рахунок прогорання чи деформації металу змінюють площу прохідного перетину, що призводить до розбалансування співвідношення повітря : паливо, тобто коефіцієнта надлишку повітря) та іншими удосконаленнями, деталі яких з комерційних міркувань не розкриваємо.

Зважаючи на поступову імплементацію Україною європейського законодавства, зокрема щодо викидів шкідливих речовин до атмосферного повітря, Інститутом газу НАН України розроблені технології та технічні рішення, які можуть бути застосовані при виготовленні нових котлів типу ТВГ та КВГ із зниженням викидів оксидів азоту до 100 мг/м³ (при 3 % O₂, сухі гази). Перспективним є баластування природного газу діоксидом вуглецю, традиційним є застосування рециркуляції димових газів, що не призведе до значного збільшення витрат електроенергії через низький аеродинамічний опір щільних подових пальникових пристроїв (але дещо знизиться ККД); можливі інші методи [15–18].

У КП «Київтеплоенерго» (раніше – СВП «Житлоплоенерго» ПАТ «Київенерго») з 2009 по 2019 р. вже реконструйовано більше 15 котлів типу ТВГ-8 (ТВГ-8М). Вартість реконструкції (виготовлення нової конвективної поверхні, демонтаж заводської та монтаж нової поверхні нагріву, пуско-налагоджувальні роботи) – близько 1 млн грн. Термін окупності – всього 1 рік (один опалювальний сезон).

Подібний проект Інститутом газу НАН України був розроблений щодо котлів КВГ-7,56 та на підставі госпдоговірних умов переданий замовнику. Котли ТВГ-4, ТВГ-4Р та КВГ-4,65, що працюють у котельнях тепломереж міст та селищ України, також потребують подібної реконструкції, яка може бути розроблена та виконана Інститутом газу НАН України. При замовленні теплопостачальниками модернізова-

них котлів завод-виробник зможе виробляти котли вже з оновленими конвективними поверхнями нагріву та пальниками. Переобладнання усього парку котлів типу ТВГ та КВГ, що працюють у системах теплопостачання міст України, дасть можливість зекономити за рік близько 200 млн м³ газу. Реконструювати усі котли ТВГ та КВГ, що встановлені в Україні (близько 2000 котлів), можливо за п'ять років.

Висновки

В Україні експлуатується близько 2 тис. водогрійних котлоагрегатів типу ТВГ та КВГ загальною тепловою потужністю більше 10 ГВт, що розроблені Інститутом газу НАН України. Особливістю конструктивних рішень, закладених у котли, є розділення топки на секції двосвітними екранами, між якими встановлені газові щільні подові пальникові пристрої, за рахунок чого забезпечується рівномірне тепло-виділення по глибині топки.

Досвід експлуатації котлів ТВГ та КВГ підтвердив раціональність первинно закладених технічних рішень, що дало можливість отримати ремонтпридатний, недорогий у виготовленні та експлуатації, виключно газовий котел із задовільними навіть на даний час техніко-економічними показниками та ресурсом, який виявився більш ніж у 2,5 рази довше розрахункового.

З метою приведення техніко-економічних показників існуючих котлів до сучасного європейського рівня Інститут газу НАН України розробив проект реконструкції котлів ТВГ-8 (ТВГ-8М) та КВГ-7,56 з підвищенням їх ККД до 94–95 %. Дана реконструкція котлів в останні роки успішно впроваджується у Києві, Житомирі та інших містах України, із заводом-виробником (ПАТ «Монастирищенський машинобудівний завод») укладено ліцензійну угоду щодо випуску нових котлів різних потужностей з конвективною частиною більшої площі з труби діаметром 32×3 мм та новими пальниковими пристроями типу МПИГ-3. Подібні проекти реконструкції необхідно розробити й для інших котлів типорозмірів ТВГ та КВГ.

Список літератури

1. Бузников Е.Ф., Сидоров В.Н. Водогрейные котлы и их применение на электростанциях и в котельных. М.: Энергия, 1965. 240 с.
2. Сигал И.Я., Лавренцов Е.М., Косинов О.И., Домбровская Э.П. Газовые водогрейные промышленно-отопительные котлы. Киев : Техника, 1967. 145 с.

3. А.с. 173396 СССР, МПК F 24 D. Водогрейный котел. И.Я.Сигал, Е.М.Лавренцов, Э.П.Домбровская. заявл. 21.10.1964; опубл. 07.04.1965, Бюл. № 15.
4. А.с. 197915 СССР, МПК F 24 D. Котел для нагрева жидкости. И.Я.Сигал, Э.П.Домбровская, Е.М.Лавренцов, Д.Г.Вексельман, Л.Я.Эдельсон. № 1065481/24-6; заявл. 24.03.1966; опубл. 09.06.1967, Бюл. № 13.
5. Сигал И.Я., Лавренцов Е.М. Газовые теплофикационные промышленно-отопительные водогрейные котлы. *Энергетика и электрификация*. 1967. № 2. С. 10–12.
6. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л. : Недра, 1988. 313 с.
7. Косинов О.И. Исследование влияния интенсификации теплообмена на образование окислов азота в топках котлов : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1975. 27 с.
8. Сміхула А.В. Розробка та дослідження потужних подових щілинних пальників для водогрійних баштових котлів : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 2007. 20 с.
9. Каменецкий Б.Я. Прочность экранных труб водогрейных котлов. *Новости теплоснабжения*. 2012. № 5. С. 33–35.
10. Directive (EU) 2015/2193 (2015) Of the European parliament and of the council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants, Official Journal of the European Union, 2015, 28 November, 19 p.
11. Dudley B. et al., (2018) BP Statistical Review of World Energy June 2018, The Editor BP Statistical Review of World Energy, 67th edition, London, 61 p.
12. Пат. на корисну модель UA 51709 Укр., МПК F 24 H. Прямоточный водогрійный котел на газово-му паливі. Є.М.Лавренцов, І.Я.Сігал, А.В.Сміхула, В.Я.Скрипко, Г.П.Кучин, О.С.Кер-нажицька. № u201001768; заявл. 18.02.2010; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14.
13. Пат. на корисну модель UA 52028 Укр., МПК F 24 D. Пальник для спалювання газу. І.Я.Сігал, О.І.Сігал, А.В.Сміхула, Є.М.Лавренцов, Е.П.Домбровська. № u201001705; заявл. 17.02.2010; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15.
14. Лавренцов Е.М., Сигал И.Я., Смихула А.В., Березанский В.В., Овчар В.В. Модернизация водогрейных котлов ТВГ. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2010. № 6. С. 70–76.
15. Сигал И.Я., Смихула А.В., Марасин А.В., Лавренцов Е.М. Продление ресурса промышленных и отопительных котлов от 12 МВт котельных и ТЭЦ. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2015. № 3. С. 46–53.
16. Сигал И.Я., Смихула А.В., Дубоший А.Н., Горбунов А.В., Гобунов А.А. Снижение образования окислов азота при сжигании природного газа. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2016. № 4. С. 44–51.
17. Сігал І.Я., Сміхула А.В., Марасін О.В., Лавренцов Є.М., Домбровська Е.П. Модернізація газових котлів ТЕС, ТЕЦ та котельні до вимог екологічних директив ЄС. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2017. № 4. С. 61–70.
18. Сміхула А.В., Сігал І.Я., Бондаренко Б.І., Семенюк Н.І. Технології зниження шкідливих викидів до атмосфери тепловими електростанціями та котельними великої і середньої потужності України. Київ : ФОП Маслаков, 2019. 108 с.

Надійшла до редакції 03.07.19

Лавренцов Е.М., Сигал И.Я., докт. техн. наук, проф.,
Смихула А.В., канд. техн. наук, **Домбровская Э.П.,** канд. техн. наук,
Кернажицкая Е.С., Марасин А.В., канд. техн. наук
Институт газа НАН Украины, Киев
 ул. Десятрєвская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: isigal@ukr.net

Опыт разработки, внедрения и модернизации водогрейных котлоагрегатов с двухсветными экранами и щелевыми подовыми горелками

Показано, что в газовых котлах равномерный подвод тепла по глубине (ширине) топочной камеры за счет использования подовых щелевых горелок повышает их ресурс на срок более 40 лет. Причем использование двухсветных экранов позволяет существенно увеличить теплонапряжение топочного объема, оставляя неизменными объем топочной камеры и температуру дымовых газов на выходе из топки при одновременном снижении выбросов оксидов азота. Котлы мощностью 1–10 МВт с вышеуказанными техническими решениями конструкции Института газа НАН Украины с общей тепловой мощностью более 60 ГВт продолжают выпускаться и эксплуатироваться в Украине и странах СНГ, причем по выбросам оксидов азота установленные котлы соответствуют новой директиве ЕС (EU) 2015/2193. Показано, что применение газовых подовых щелевых горелок по

сравнению с базовыми заводскими вихревыми типов ГМГ или ГМГБ, установленными на многих котлах, позволяет снизить выбросы оксидов азота ориентировочно на 15 %. Разработан проект реконструкции котлов ТВГ-8 (ТВГ-8М) и КВГ-7,56 с увеличением площади конвективной поверхности заменой заводской трубы диаметром 28×3 на 32×3 мм. Предусмотрено использование усовершенствованных щелевых подовых горелок, оснащенных калиброванными соплами для точного дозирования природного газа в воздух. В результате исследований и испытаний реконструированных котлов в течение 3–5 лет показано, что эти технические решения позволяют повысить энергоэффективность существующих котлов ТВГ и КВГ до современного европейского уровня – 94–95 % на номинальной тепловой мощности. *Библ. 18, рис. 4, табл. 5.*

Ключевые слова: котлы, горение, ресурс, оксиды азота, энергоэффективность.

*Laurentsov E.M., Sigal I.Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Smikhula A.V., Candidate of Technical Sciences,
Dombrowska E.P., Candidate of Technical Sciences, Kernazhytska O.S.,
Marasin O.V., Candidate of Technical Sciences
The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
39, Degtjariwska Str., 03113 Kyiv, Ukraine, e-mail: isigal@ukr.net*

Experience of Development, Implementation and Modernization of Hot Water Supply Boilers with Dual-Screens and the Slot Bottom Burners

The increases service life of gas hot water supply boilers with uniform heat supply along of the depth (width) of the combustion chamber for more than 40 years, by using of slot bottom burners was shown. While reducing nitrogen oxide emissions by using of dual-screens its can significantly increase the heat stress of the furnace, the volume of the furnace chamber and the temperature of the flue gases had left unchanged. The boilers with a capacity of 1–10 MW, with the above technical design solutions of the Gas Institute of the NAS of Ukraine, with a total heat capacity of more than 60 GW, continue to be operated and produce in Ukraine and the CIS countries. Installed boilers relatively nitrogen oxide emissions comply with new EU directive (EU) 2015/2193. The using of gas slot bottom burners can reduce nitrogen oxide emissions by approximately 15 % compared to the basic factory vortex types GMG or GMGB installed on many boilers was shown. A project for the reconstruction of boilers TVG-8 (TVG-8M) and KVG-7.56 with an increase in convective surface area by replacing the factory pipe $\varnothing 28 \times 3$ mm with $\varnothing 32 \times 3$ mm had developed. Using the improved slot bottom burners in particular equipped with calibrated nozzles for precise dosing of natural gas into the air was envisaged. As a result of a research test of the reconstructed boilers for 3–5 years these technical solutions could increase the energy efficiency of existing TVG and KVG boilers up to the current European level – 94–95 at rated heat output was shown. *Ref.18, Fig.4, Tab. 5.*

Key words: boilers, combustion, resource, nitrogen oxides, energy efficiency.

References

1. Buznikov E.F., Sidorov V. [Heat-water supply boilers and their use in power plants and boiler rooms]. Moscow : Energiya, 1965. 240 p. (Rus.)
2. Sigal I.Ya., Lavrentsov E.M., Kosinov O.I., Dombrovskaya E.P. [Gas-fired heat-water supply industrial boilers]. Kiev : Tekhnika, 1967. 145 p. (Rus.)
3. Certificate of authorship 173396 USSR, MPK F 24 D. [Gas-fired heat-water supply boiler] I.Ya.Sigal, E.M.Lavrentsov, E.P.Dombrovskaya. 925898/24-6; zajavl. 21.10.1964; Publ. 07.04.1965, Bull. 15. (Rus.)
4. Certificate of authorship 197915 USSR, MPK F 24 D. [Boiler for liquid heating] I.Ya.Sigal, E.P.Dombrovskaya, E.M.Lavrentsov, D.G.Vekselman, L.Ya. Edelson. 1065481/24-6; zajavl. 24.03.1966; Publ. 09.06.1967, Bull. 13. (Rus.)
5. Sigal I.Ya., Lavrentsov E.M. [Gas-fired heat-water supply industrial boilers]. *Energetika i elektrifikatsiya*. 1967. No. 2. pp. 10–12. (Rus.)
6. Sigal I.Ya. [Protection of ambient air at fuel burning]. Leningrad : Nedra, 1988. 313 p. (Rus.)
7. Kosinov O.I. [Investigation of the influence of heat transfer intensification on the formation of nitrogen oxides in boiler furnaces]. Avtoref. dis. ... kand. techn. nauk. Kiev, 1975. 27 p. (Rus.)
8. Smikhula A.V. [Development and research of power bottom slot burners for tower hot water boilers]. Avtoref. dis. ... kand. techn. nauk. Kiev, 2007. 20 p. (Ukr.)
9. Kamenetsky B.Ya. [Strength of screen pipes of boilers]. *Novosti teplosnabzheniya*. 2012. No. 5. pp. 33–35. (Rus.)
10. Directive (EU) 2015/2193 (2015) Of the European parliament and of the council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants, Official Journal of the European Union, 2015, 28 November, 19 p.
11. Dudley B. et al. BP Statistical Review of World Energy June 2019, The Editor BP Statistical Review of World Energy, 68th edition, London, 2019. 61 p.
12. Pat. Utility model UA 51709 UA, MPK F 24 H. [Direct-flow gas-fired heat-water supply boiler]. E.M. Lavrentsov, I.Ya.Sigal, A.V.Smikhula, V.Ya. Skripko, G.P.Kuchin, O.S.Kernazhytska. u201001768; zajavl. 18.02.2010; Publ. 26.07.2010, Bull. 14. (Ukr.)
13. Pat. Utility model UA 52028 UA, MPK F 24 D. [Burner for gas burning]. I.Ya.Sigal, O.I.Sigal, A.V.Smikhula, E.M.Lavrentsov, E.P.Dombrovskaya. u201001705; zajavl. 17.02.2010; Publ. 10.08.2010, Bull. 15. (Ukr.)
14. Lavrentsov E.M., Sigal I.J., Smikhula A.V., Berezanskiy V.V., Ovchar V.V. [Water Boilers of TVG and KVG Types Modernization]. *Energotehnologii i Resursosberezhenie. [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2010. No. 6. pp. 70–76. (Rus.)
15. Sigal I.Y., Smikhula A.V., Marasin O.V., Lavrentsov E.M. [The increasing duration of operation of boiler houses and heat electro power stations above 12 MW in Ukraine]. *Energotehnologii i Resursosberezhenie. [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2015. No. 3. pp. 46–53. (Rus.)
16. Sigal I.Ya., Smikhula A.V., Duboshiy O.M., Horbunov O.V., Horbunov A.O. [Reducing the formation of nitrogen oxides during the combustion of natural gas]. *Energotehnologii i Resursosberezhenie. [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2016. No. 4. pp. 44–51. (Rus.)
17. Sigal I.Ya., Smikhula A.V., Marasin O.V., Lavrentsov E.M., Dombrowska E.P. [Modernization of gas boilers of TPP, CHP and boilers rooms to the EU directive ecological requirements]. *Energotehnologii i Resursosberezhenie. [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2017. No. 4, pp. 61–70. DOI: 10.33070/etars.4.2017.09 (Ukr.)
18. Smikhula A.V., Sigal I.Ya., Bondarenko B.I., Semeniuk N.I. [Technologies for reduction of harmful emissions to the atmosphere of thermal power plants and boiler-houses of large and medium power of Ukraine] Kiev : FOP Maslakov, 2019. 108 p. (Ukr.)

Received July 3, 2019