

УДК 621.181.6

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНИХ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДГРІВАННЯ ТА ЗВОЛОЖЕННЯ ДУТТЬОВОГО ПОВІТРЯ ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЛОАГРЕГАТІВ

Фіалко Н.М., член-кор. НАН України, **Пресіч Г.О.**, канд. техн. наук, **Гнєдаш Г.О.**, канд. техн. наук, **Шевчук С.І.**, канд. техн. наук, **Дашковська І.Л.**

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>

Запропоновано для водогрійних газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики комплексну теплоутилізаційну систему для підігрівання та зволоження дуттьового повітря і нагрівання холодної води на хімводоочищення. Проведено розрахункові дослідження щодо теплової ефективності даної системи.

Предложена для водогрейных газопотребляющих котлов коммунальной теплоэнергетики комплексная теплоутилизационная система для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха и нагрева холодной воды на химводоочистку. Проведены расчетные исследования касательно тепловой эффективности данной системы.

The complex heat-recovery system for humidifying and heating of blown air and preheating of cold water for chemical water-purification system is proposed for water-heating gas-fired boilers of municipal heat-power engineering. Calculated research of the thermal efficiency of this system was carried out.

Бібл. 15, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: відхідні димові гази, теплові втрати, коефіцієнт використання теплоти палива, нагрівання води хімводоочищення.

NO_x – оксиди азота;

t – температура;

X – вологовміст;

Δ – різниця;

с.г., с.п. – сухий газ чи повітря;

Скорочення:

КВТП – коефіцієнт використання теплоти палива;

ХВО – хімводоочищення;

Індекси:

2 – параметр на виході;

г – газ;

п – повітря;

р – роса.

Ситуація, що склалась останнім часом в комунальній теплоенергетиці України через значне зростання вартості природного газу та посилення вимог щодо зменшення забруднення навколишнього середовища при його спалюванні, спонукає до пошуку ефективних енергоощадних технологій для газоспоживальних теплових установок. Першим дієвим етапом у цьому напрямі є підвищення ефективності спалювання палива в котлоагрегатах завдяки модернізації наявних або застосуванню нових сучасних пальникових пристроїв [1-3]. На другому етапі для більш істотного збільшення коефіцієнта використання теплоти палива (КВТП) та значного поліпшення екологічних показників роботи газоспоживальних котлів слід впроваджувати прогресивні теплоутилізаційні технології [4-6], в яких реалізується конденсаційний режим роботи теплоутилізаційного устаткування. Традиційні теплоутилізаційні апарати, що використовуються в комунальній теплоенергетиці і призначені для підігрівання лише одного теплоносія – зворотної тепломережної води або дуттьового повітря, не забезпечують цього режиму продовж усього опалювального періоду. Для постійної реалізації конденсаційного режиму роботи теплоутилізаційного

устаткування необхідно використовувати комплексні системи, в яких здійснюється нагрівання теплоносіїв з різними тепловими потенціалами. Застосування таких теплоутилізаційних технологій для котельних установок забезпечує окрім теплового значний екологічний ефект завдяки зниженню шкідливих викидів в атмосферу при зменшенні витрати палива та частковому розчиненні цих викидів у утвореному конденсаті. Для посилення екологічного ефекту в комплексних системах за рахунок утилізованої теплоти може здійснюватись зволоження дуттьового повітря, що сприяє пригніченню утворення оксидів азоту NO_x в топковому просторі котла [7].

Інститут технічної теплофізики НАН України постійно проводить наукові дослідження у цьому напрямі стосовно розробки та вдосконалення відповідних теплоутилізаційних технологій і устаткування. Так у роботі [8-10] запропоновано і досліджено комплексну теплоутилізаційну систему для підігрівання та зволоження дуттьового повітря (рис. 1).

У даній системі за рахунок використання теплоти відхідних димових газів у водопідігрівачах ВД та ПВ нагрівається вода циркуляційного контуру, части-

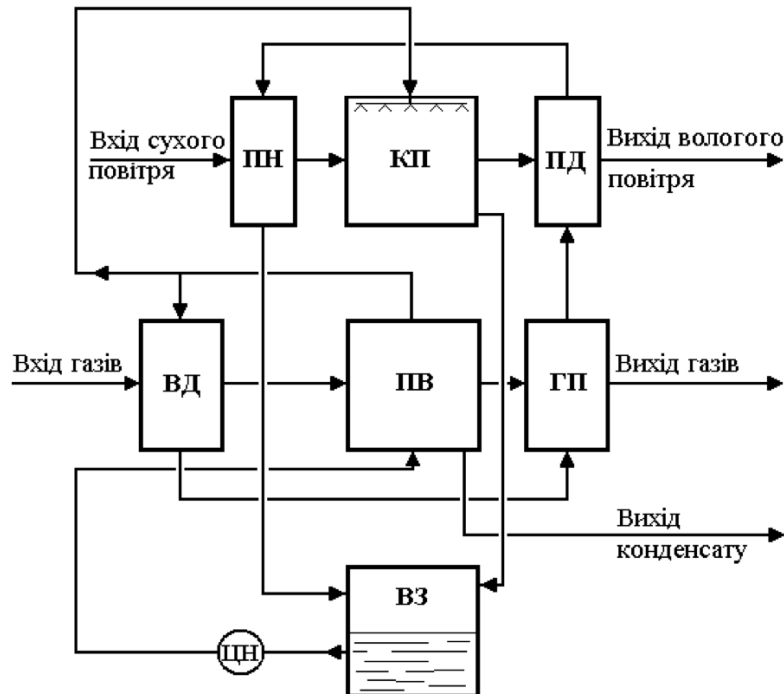


Рис. 1. Структурна схема комплексної теплоутилізаційної системи для підігрівання та зволоження дуттьового повітря:

ПН – повітрянагрівач; КП – контактний повітропідігрівач; ПД – повітродогрівач; ВД – вододогрівач; ПВ – поверхневий водопідігрівач; ГП – газопідігрівач; ВЗ – водозбірник; ЦН – циркуляційний насос.

на якій спрямовується в контактний повітропідігрівач КП. У повітропідігрівачі КП шляхом розбризкування нагрітої води на гофрованій насадці і контакту з нею повітря, що надходить до газопальникового пристрою котла, відбувається нагрівання і зволоження цього повітря. При охолодженні газів у теплообміннику ПВ здійснюється конденсація частини вологи, що міститься в димових газах, яка разом з охолодженою водою з контактного повітропідігрівача КП спрямовується до водозбірника. Перед надходженням в димову трубу охолоджені димові гази підсушуються у газопідігрівачі ГП до рівня, що забезпечує запобігання конденсації в цій трубі та підвідних газоходах. Вододогрівач ВД призначений для підвищення теплового потенціалу води, що використовується в газопідігрівачі ГП. Теплообмінники ПН і ПД слугують для попереднього підігрівання повітря перед надходженням його в контактний підігрівач КП і підсушування зволоженого повітря для уникнення конденсації в підвідних до газопальникового пристрою котла повітроводів. Нагріте і зволене повітря спрямовується в топку котла. При цьому, підвищення температури повітря забезпечує відповідне зниження витрати палива, а зволоження цього повітря сприяє зменшенню утворення оксидів азоту завдяки зниженню температури горіння шляхом використання частини теплового потенціалу полум'я на

нагрівання внесеної вологи.

Дана система характеризується:

1. Високим рівнем температури води у вододогрівачі ВД замкненого контуру перед газопідігрівачем ГП і повітродогрівачем ПД, що забезпечує роботу комплексної системи без споживання теплової енергії від зовнішнього високотемпературного джерела на підсушування охолоджених газів і нагрітого вологого повітря, що дає змогу уникнути випадіння конденсату у повітроводах та димових каналах котельні. Це є значною перевагою її у порівнянні з традиційними системами з підігрівачами відхідних газів чи повітря, наприклад, прямою водою від котла.

2. Реалізацією процесу зволоження дуттьового повітря в достатньому обсязі для підвищення екологічної ефективності котельної установки за рахунок зменшення утворення NO_x в топковій камері котла завдяки високій температурі повітря на виході з ПН, а відповідно і його значній вологоємності перед контактним повітропідігрівачем КП. Як показали випробування [9], в такій системі досягнуто зменшення оксидів азоту до 4,5 разів.

Основним недоліком даної комплексної системи є підвищений вологовміст димових газів на виході з установки, а відтак і значний рівень її теплових втрат. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є залучен-

ня додаткового споживача теплової енергії. Для водогрійних котлів комунальної теплоенергетики таким споживачем може слугувати холодна вода, що надходить до системи хімводоочищення (ХВО) котельні.

Принципова схема запропонованої удосконаленої комплексної системи наведена на рис. 2. Як видно, у порівнянні з прототипом (рис. 1), новим елементом, який покликаний підвищити теплову ефективність комплексної системи, є додатковий поверхневий теплоутилізатор – водопідігрівач холодної води системи хімводоочищення 7. Завдяки низькому рівню температури води на вході у даний водопідігрівач таке рішення забезпечує більш глибоке охолодження димових газів і реалізацію конденсаційного режиму роботи цього теплообмінника впродовж всього періоду експлуатації. В результаті застосування допоміжного теплообмінника забезпечується суттєве зниження температури та вологовмісту димових газів перед їхнім надходженням до газопідігрівача теплоутилізаційної системи.

Мета роботи полягає у дослідженні режимних параметрів комплексної теплоутилізаційної системи для підігрівання і зволоження дуттьового повітря та нагрівання води на хімводоочищення і порівнянні її основних тепловологісних характеристик з відповідною системою без нагрівання води ХВО.

Вихідні дані для проведення розрахункових досліджень теплової ефективності запропонованої системи при застосуванні її для водогрійного котла наведено в

табл.1. При виконанні досліджень навантаження котла приймалося відповідно до теплового графіка котельні з перепадом температур теплоносія в тепловій мережі 95-70°C згідно з температурою навколишнього середовища, що змінювалася в діапазоні від мінус 20 до плюс 10°C. Витрата води в системі ХВО приймалася у обсязі 1,5% від загальної витрати води на котел, що відповідає сучасним нормам підживлення теплових мереж.

Визначення тепловологісних характеристик досліджуваної комплексної теплоутилізаційної системи проводилося за відомими методиками з використанням у конденсаційних режимах роботи розрахункових експериментальних залежностей, отриманих в Інституті технічної теплофізики НАН України [11, 12].

Дослідженню підлягали наступні характеристики системи:

- загальна теплопродуктивність комплексної системи Q (рис. 3а);
- приріст КВТП котла $\Delta\eta$ (рис. 3б);
- кінцева температура нагрітого дуттьового повітря t_2^n (рис. 3в) і показник його зволоження X_2^n (рис. 3г);
- температура димових газів на виході з газопідігрівача системи t_2^r з відповідною їм точкою роси t_p (рис. 4а), а також рівень їхнього вологовмісту X_2^r (рис. 4б).

Проведено зіставлення та аналіз досліджуваних параметрів комплексної системи за наявності нагрівання води на ХВО з відповідною системою без такого нагрівання.

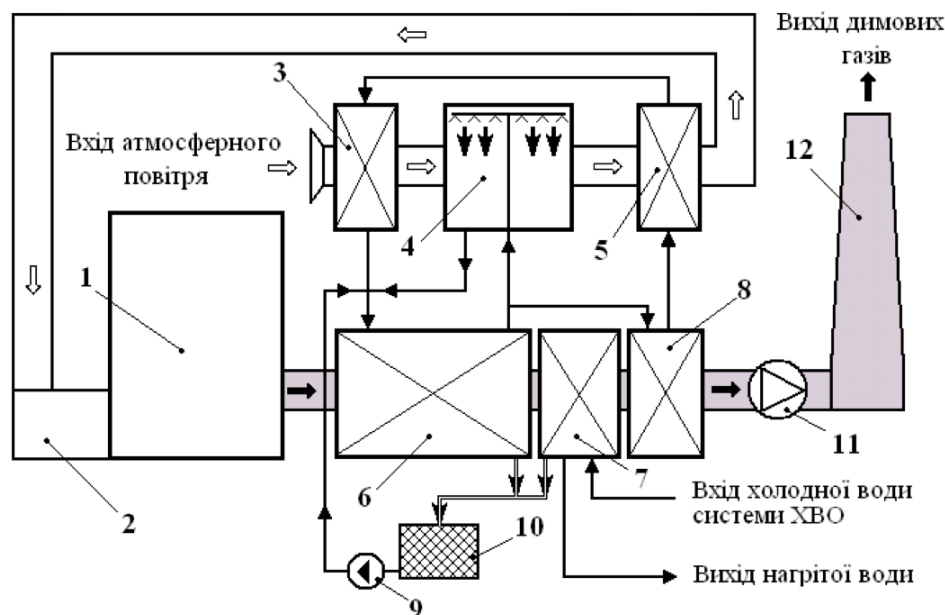


Рис. 2. Принципова схема комплексної теплоутилізаційної системи для підігрівання і зволоження дуттьового повітря та нагрівання води системи ХВО: 1 – газоспоживальний котел; 2 – пальниковий пристрій; 3 – повітрянагрівач; 4 – контактний повітропідігрівач; 5 – повітродогрівач; 6 – водопідігрівач циркуляційної води; 7 – підігрівач води системи ХВО; 8 – газопідігрівач; 9 – циркуляційний водяний насос; 10 – нейтралізатор конденсату; 11 – димосос; 12 – димова труба.

Таблиця 1. Вихідні дані для теплових розрахунків комплексної теплоутилізаційної системи з підігріванням і зволоженням дуттьового повітря та нагріванням води на хімоводоочищення

Найменування параметра	Значення						
Температура навколишнього середовища, °С	10	5	0	-5	-10	-15	-20
Навантаження котла відповідно до температурного графіка котельні, %	32	36	49	62	78	87	100
Теплопродуктивність котла, МВт	0,20	0,23	0,31	0,39	0,49	0,55	0,63
Витрата природного газу, м ³ /год	21,5	24,3	33,5	42,8	54,4	61,0	70,5
Коефіцієнт надлишку повітря	1,65	1,60	1,55	1,50	1,40	1,30	1,20
Витрата димових газів, кг/с	0,14	0,15	0,20	0,25	0,30	0,31	0,33
Температура газів на виході з котла, °С	80	93	114	132	148	157	170
Витрата повітря, кг/с	0,12	0,13	0,18	0,22	0,26	0,27	0,29
Вологовміст повітря з навколишнього середовища, г/кг с.п.	5,0	4,0	3,0	2,0	1,2	1,0	0,8
Температура води на ХВО, °С	10	8	5	5	4	4	4

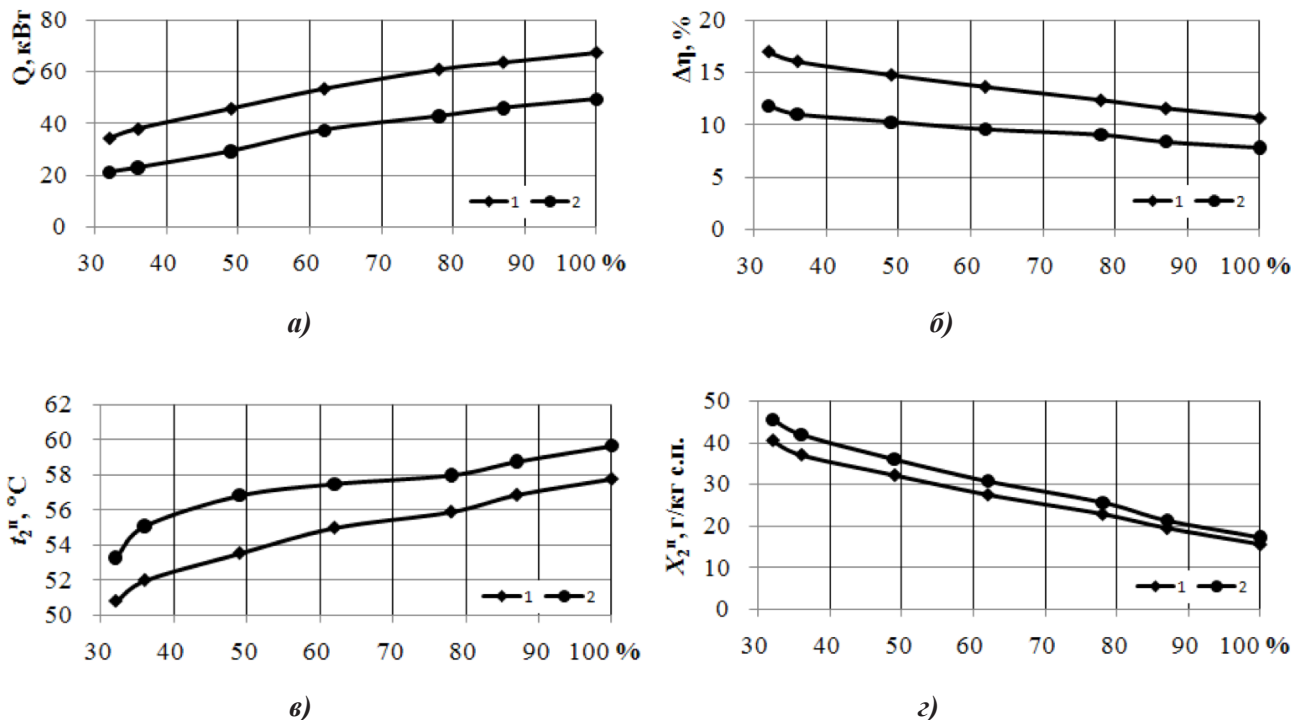


Рис. 3. Залежність від навантаження котлоагрегата загальної теплопродуктивності (а), приросту КВТП $\Delta\eta$ (б), температури дуттьового повітря (в) та його вологовмісту (з) на виході з комплексної теплоутилізаційної системи, призначеної для підігрівання і зволоження дуттьового повітря та нагрівання (або без нього) води на ХВО: 1 – система з нагріванням води на ХВО; 2 – система без нагрівання води на ХВО.

Очевидним є те, що загальна теплопродуктивність утилізаційної системи Q (рис. 3.а) залежить від навантаження котлоагрегата. Її величина збільшується зі зростанням цього навантаження, оскільки відповідно збільшується температура і витрата відхідних димових газів. Завдяки наявності у складі системи пропонованого до-

даткового елемента – підігрівача холодної води ХВО, досягається в 1,3...1,6 рази перевищення загальної теплопродуктивності цієї системи у порівнянні з системою без такого теплообмінника.

Як видно з даних рис. 3.б, величина приросту КВТП котла $\Delta\eta$ за рахунок застосування досліджуваних

комплексних теплоутилізаційних систем є значною і змінюється в межах від 8,0 до 17,7%. При цьому найбільші значення $\Delta\eta$ відповідають системі з нагріванням води на ХВО.

Графіки на рис. 3.в демонструють характер зміни та величини рівня підігрівання дуттьового повітря t_2^n на виході з теплоутилізаційної системи. Можна побачити, що є певна залежність у характері зміни рівня підігрівання повітря із залежністю для загальної теплопродуктивності системи (рис. 3.а). А саме, спостерігається поступове збільшення досліджуваної величини t_2^n зі зростанням навантаження на котел. За наявності запропонованого нагрівання води для системи ХВО температура t_2^n збільшується від 51°C до 58°C. При цьому видно, що рівень t_2^n для теплоутилізаційної системи без такого нагрівання дещо вищий. Це пояснюється залученням до складу комплексної системи саме водопідігрівача ВП ХВО (див. рис. 1б), що спричинює зміну потенціалів теплоносіїв та інший характер їхнього перерозподілу між елементами системи.

На рис. 3.г наведено результати розрахункових досліджень рівня вологовмісту дуттьового повітря X_2^n на виході з комплексної системи. Відповідно до отриманих даних вологовміст дуттьового повітря X_2^n істотно зростає при зменшенні навантаження котельного агрегата, що обумовлено збільшенням температури та вологемності зовнішнього повітря на вході в систему. Для системи з нагріванням води на хімводоочищення величина X_2^n змінюється від 16 г/кг с.п. до 41 г/кг с.п., тобто відбувається зростання вологовмісту у 2,6 рази. При цьому зіставлення величин X_2^n для комплексної системи з нагріванням води ХВО та без нього показує, що рівень зволоження дуттьового повітря для обох систем майже однаковий.

Розрахункові дані тепловологісного стану димових газів на виході з комплексної системи наводяться на

рис. 4. Для системи з нагріванням води ХВО, як видно, значення температури t_2^r (рис. 4.а) та вологовмісту X_2^r (рис. 4.б) менші, ніж для відповідної системи без такого нагрівання. Це обумовлено низькою вхідною температурою води у водопідігрівач 7 системи ХВО (див. рис. 2.) та високим рівнем конденсації водяної пари з димових газів на його теплообмінній поверхні. Завдяки зменшенню вологовмісту X_2^r досягнуто зниження рівня температури точки роси t_p цих газів. У всіх режимах роботи котлоагрегата дотримується умова $t_2^r > t_p$, при цьому їхня різниця Δt знаходиться в межах від 13°C до 16°C, що зазвичай є достатнім для уникнення конденсатоутворення у газовідвідних каналах в напрямку димової труби [13]. З метою контролю стану даних каналів стосовно наявності в них пошкоджень внаслідок конденсатоутворення застосовують сучасні методи моніторингу цих каналів, що дозволяє вчасно виявити дефекти поверхонь та посилити заходи щодо їхнього антикорозійного захисту [14,15].

Таким чином можна констатувати, що пропонуване вдосконалення комплексної системи, істотно знизило теплові втрати котельної установки. Зниження теплових втрат в даній ситуації покращує і умови експлуатації газовідвідного тракту котельні завдяки зниженню абсолютної вологості димових газів на виході із запропонованої системи.

Для теплоутилізаційної системи для підігрівання і зволоження дуттьового повітря та нагрівання води системи ХВО також були проведені розрахункові дослідження її екологічної ефективності [7]. Як показав аналіз отриманих даних, застосування для котельних установок вказаних теплоутилізаційних систем окрім підвищення ефективності використання теплоти палива забезпечує скорочення викидів оксидів азоту на 21...63 % в залежності від навантаження котла.

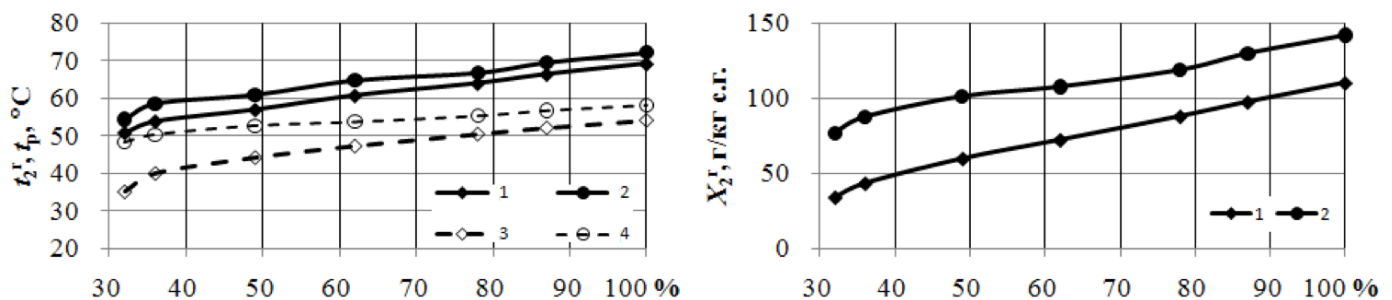


Рис. 4. Залежність від навантаження котлоагрегата температури димових газів (а) та відповідної їм точки роси (3, 4), вологовмісту димових газів (б) на виході з комплексної теплоутилізаційної системи, призначеної для підігрівання і зволоження дуттьового повітря та нагрівання (або без нього) води на ХВО:

1, 3 – система з нагріванням води на ХВО; 2, 4 – система без нагрівання води на ХВО.

Висновки

1. Запропоновано для зменшення теплових втрат газоспоживальних котлів застосування комплексної теплоутилізаційної системи для підігрівання і зволоження дутьового повітря та нагрівання води на хімічній водоочистці, що забезпечує збільшення коефіцієнта використання теплоти палива у котлах в залежності від їхнього навантаження від 11% до 17%.

2. Показано, що для вказаної теплоутилізаційної системи з нагріванням води на ХВО у порівнянні з системою без такого нагрівання загальна теплопродуктивність збільшується в 1,3...1,6 рази, а приріст КВТП котла зростає на 5,2%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Коханенко П.С., Полозенко Н.П. (2010). Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени. Промышленная теплотехника, 6, 28–36.

2. Фіалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Бутовский Л.С., Абдулин М.З., Полозенко Н.П., Клиш А.В., Стрижеус С.Н., Тимошенко А.Б. (2014). Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, т.3. 8(69), 40–44.

3. Фіалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Полозенко Н.П. (2011). Компьютерное моделирование процесса смесеобразования в горелочных устройствах стабилизаторного типа с подачей газа внедрением в сносящий поток воздуха. Промышленная теплотехника, 1, 51–56.

4. Степанова А.И. (2016). Анализ эффективности установки с комбинированной теплоутилизационной системой для подогрева воды и дутьевого воздуха котлоагрегата. Промышленная теплотехника, 38(4), 38–45.

5. Навродська Р. О. (2015). Підвищення ефективності теплоутилізаційних технологій для котельних установок комунальної теплоенергетики. Науковий вісник НЛТУ України, 25(9), 225–229.

6. Фіалко Н.М., Степанова А.И., Навродская Р.А., Шеренковский Ю.В. (2014). Эффективность агрегатированных теплоутилизационных систем для котельных с поверхностными конденсационными теплоутилизаторами. Промышленная теплотехника, 36(3), 63–71.

7. Fialko N.M., Navrodska R.A., Presich G.A., Gnedash G.A., Shevchuk S.I., Martiuk O.V. (2018). Підвищення екологічної ефективності комплексних теп-

лоутилізаційних систем котельних установок. Промислова теплотехніка, 40(2), 27–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.04>.

8. Фіалко Н.М., Степанова А.И., Пресич Г.А., Гнедаш Г.А. (2015). Анализ эффективности теплоутилизационной установки для нагревания и увлажнения дутьевого воздуха котлоагрегата. Промышленная теплотехника, 37(4), 71–79.

9. Фіалко Н.М., Пресич Г.О., Навродська Р.О., Гнедаш Г.О. (2013). Екологічна ефективність комбінованих систем утилізації теплоти викидних газів котельної установки. Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва, (755), 429–434.

10. Фіалко Н.М., Пресич Г.О., Навродська Р.О., Гнедаш Г.О. (2011). Удосконалення комплексної системи утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегатів для підігрівання і зволоження дутьового повітря. Промышленная теплотехника, 33(5), 88–95.

11. Фіалко Н.М., Гомон В.И., Навродская Р.А., Прокопов В.Г., Пресич Г.А. (2000). Особенности методики расчета поверхностных теплоутилизаторов конденсационного типа. Промышленная теплотехника. 22 (2), 49–53.

12. Navrodska R.A., Stepanova A.I., Shevchuk S.I., Gnedash G.A., Presich G.A. (2018). Експериментальні дослідження теплообміну під час глибокого охолодження продуктів згоряння газоспоживальних котлів. Науковий вісник НЛТУ України, 28(6), 103–108. <https://doi.org/10.15421/40280620>.

13. Фіалко Н.М., Навродская Р.А., Шевчук С.И., Пресич Г.А., Гнедаш Г.А., Глушак, О.Ю. (2014). Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок с глубоким охлаждением дымовых газов. Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии, 2(15), 13–17.

14. V.P. Babak, S.V. Babak, M.V. Myslovych, A.O. Zaporozhets, V.M. Zvarych Information Provision of Diagnostic Systems for Energy Facilities / Edited by Member of the NAS of Ukraine V. Babak. – Kyiv: Akadempriodyka, 2018. – 134 p. DOI: <https://doi.org/10.15407/akadempriodyka.353.134>

15. В.П. Бабака, В.С. Берегун, З.А. Бурова та ін. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії. Монографія / за ред.чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / - К.: ІТТФ НАН України, 2016.-298 с.

INCREASE THE EFFICIENCY OF COMPLEX HEAT-RECOVERY SYSTEMS FOR HEATING AND HUMIDIFYING OF BLOWN AIR OF GAS-FIRED BOILERS

Fialko N.M., Presich G. A., Gnedash G.A., Shevchuk S.I., Dashkovska I.L.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zheliabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>

The work is devoted to increase of thermal and ecological efficiency of water-heating gas-fired boilers of municipal heat-power engineering. To improve thermal efficiency, heat-recovery technologies are used in which deep cooling of the exhaust-gases from boilers with the realization of the condensation mode of the heat recovery equipment is ensured. To implement this regime throughout the heating period, it is advisable to use complex heat-recovery systems in which several heat transfer agents are heated with sufficiently different thermal potentials. To enhance the environmental effect when using complex systems, it is possible to carry out combustion air humidifying in them, which contributes to the reduction of NO_x emissions to the environment by the boiler plants.

The work suggests improvement of the known complex heat-recovery system for heating and humidifying the blown air by introducing into its comprise an additional element - water heater of chemical water-purification system. Such the technological solution will ensure a reduction in the thermal losses of the boiler plant and improve the operating conditions of the gas ducts of the boiler house by preventing the condensate from falling out of the wet exhaust-gases.

The aim of the work is to investigate the operating parameters of the complex heat-recovery system for heating and humidifying the blown air and preheating the water for chemical water-purification and comparing its basic heatly and humidity characteristics with the corresponding complex system without preheating the water.

The results of the investigations are presented in a wide operating range of the load variation of the water-heating boiler respectively the boiler plant temperature graph and are shown graphically.

The analysis of the obtained data showed that due to the proposed modernization by preheating the water of the chemical water-purification system in the complex heat-recovery system for heating and humidifying the blown air, an increase of coefficient the use heat of fuel of boilers is provided, depending on their load from 11% to 17%. For this improved heat-recovery system with preheating the water of the chemical water-purification system in comparison with the system without such preheating, the total heating capacity of the complex system increases by 1.3÷1.6 times,

and the coefficient the use heat of fuel of the boiler increases by 5.2%.

References 15, tables 1, figures 4.

Key words: exhaust-gases, heat losses, coefficient the use heat of fuel of boiler, heating of water for chemical water-purification system.

1. Fialko N. M., Prokopov V. G., Butovskiy L. S., Sherenkovsky Ju. V., Meranova N. O., Aleshko S. A., Kokhanenko P. S., Polozenko N. P. (2010). Modelirovaniye struktury techeniya izotermicheskogo potoka v eshelonirovannoy reshetke ploskikh stabilizatorov plameni [Simulation of the flow structure of an isothermal flow in the echeloned lattice of flat flame stabilizers]. *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*, 6, 28–36. (in Rus.)

2. Fialko N. M., Sherenkovsky Ju. V., Mayson N. V., Meranova N. O., Butovskiy L. S., Abdulin M. Z., Polozenko N. P., Klishch, A. V., Strizheus S. N., Timoshchenko A. B. (2014). Matematicheskoye modelirovaniye protsessov techeniya i smeseobrazovaniya v tsilindricheskom stabilizatornom gorelochnom ustroystve [Mathematical modeling of processes of flow and mixture formation in a cylindrical stabilizer burner device]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [Eastern European Journal of Advanced Technologies]*, V.3, 8 (69), 40–44. (in Rus.)

3. Fialko N. M., Butovsky L. S., Prokopov V. G., Sherenkovsky Ju. V., Meranova N. O., Alyoshko S. A., Polozenko, N. P. (2011). Kompyuternoye modelirovaniye protsessa smeseobrazovaniya v gorelochnykh ustroystvakh stabilizatornogo tipa s podachey gaza vnedreniyem v snosyashchiy potok vozdukha [Computer simulation of process of mixture formation in burner devices of the stabilizing type with the introduction of gas into the blowing down airflow]. *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*, 33(1), 51–56. (in Rus.)

4. Stepanova A. I. (2016). Analiz effektivnosti ustanovki s kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemoi dlya podogreva vody i dut'yevogo vozdukha kotlo-agregata [Analysis of the efficiency of the installation with a combined heat recovery system for heating the water and the blown air of the boiler]. *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*, 38(4), 38–45. (in Rus.)

5. Navrodska R. (2015). Pidvyshchennya efektyvnosti teploutylizatsiynykh tekhnolohiy dlya kotelnykh ustanovok komunalnoyi teploenerhetyky [Improving the efficiency of heat utilization technologies for municipal heating boilers]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny [Scientific Bulletin of UNFU]*, 25(9), 225–229. (in Ukr.)

6. Fialko N. M., Stepanova A. I., Navrodska R. A., Sherenkovsky Yu. V., (2014). Effektivnost agregatirovannykh teploutilizatsiynykh sistem dlya kotelnykh s poverkhnostnyimi kondensatsionnymi teploutilizatorami [Efficiency of the aggregated heat recovery systems for boilers

with surface condensation heat exchangers]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 36(3), 63–71. (in Rus.)

7. *Fialko N. M., Navrodska R. A., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I., Martiuk O.V.* (2018). Pidvyshchennya ekolohichnoyi efektyvnosti kompleksnykh teploutylizatsiynykh system kotelnykh ustanovok. [Increase of ecological effectiveness of complex heat-recovery systems for boiler plants] *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 40(2), 27–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.04> (in Ukr.)

8. *Fialko N. M., Stepanova A. I., Presich G. A., Gnedash G. A.* (2015). Analiz effektivnosti teploutylizatsionnoyi ustanovki dlya nagrevaniya i uvlazhneniya dut'yevogo vozdukhа kotloagregata [The efficiency analysis of heat utilization instalation for heating and humidifying of combustion air of boiler plant]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Heat engineering], 37(4), 71–79. (in Rus.)

9. *Fialko N. M., Presich G. O., Navrodska R. O., Gnedash G. O.* (2013). Ekolohichna efektyvnist kombinovanykh system utylizatsiyi teploty vyklydnykh haziv kotelnoyi ustanovky [Ecological efficiency of combined heat recovery systems waste of exhaust gases for boiler plant]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhnika. Teoriya i praktyka budivnytstva* [Bulletin of Lviv Polytechnic National University. The theory and practice of construction], (755), 429 – 434. (in Ukr.)

10. *Fialko N. M., Presich G. O., Navrodska R. O., Gnedash G. O.* (2011). Udoskonalennya kompleksnoyi systemy utylizatsiyi teploty vidkhydnykh haziv kotloah-rehativ dlya pidhrivannya i zvolozhennya dutt'ovoho povitrya [Improvement of the complex recovery system of heat of the exhaust-gases of boiler plants for heating and humidifying blown air]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Heat engineering], 33(5), 88–95. (in Ukr.)

11. *Fialko N. M., Gomon V. I., Navrodska R. A., Prokopov V. G., Presich G. A.* (2000). Osobennosti metodiki rascheta poverkhnostnykh teploutylizatorov kondensatsionnogo tipa [Specifics of the calculation

procedure for surface heat exchangers of condensation type, Industrial heat engineering]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 22(2), 49–53. (in Rus.)

12. *Navrodska R. A., Stepanova A. I., Shevchuk S. I., Gnedash G. A., Presich G. A.* (2018). Eksperymentalni doslidzhennya teploobminu pid chas hlybokoho okhlozhennya produktiv zhoryannya hazospozhyvalnykh kotliv [Experimental investigation of heat-transfer at deep cooling of combustion materials of gas-fired boilers]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny* [Scientific Bulletin of UNFU], 28(6), 103–108. <https://doi.org/10.15421/40280620> (in Ukr.)

13. *Fialko N. M., Navrodska R. A., Shevchuk S. I., Presich G. A., Gnedash G. A., Glushak O. Yu.* (2014). Teplovyye metody zashchity gazootvodyashchikh traktov kotelnykh ustanovok s glubokim okhlazhdeniyem dymovykh gazov [Thermal protection methods of gas exhaust ducts of boiler plants with deep exhaust gases cooling]. *Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezultaty, tekhnologii* [Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies], 2(15), 13–17. (in Rus.)

14. *Babak V.P., Babak S.V., Myslovykh M.V., Zaporozhets A.O., Zvarych V.M.* Information Provision of Diagnostic Systems for Energy Facilities; Edited by Member of the NAS of Ukraine V. Babak. – Kyiv: Akadempriodyka, 2018. – 134 p. DOI: <https://doi.org/10.15407/akadempriodyka.353.134>

15. *Babak V.P., Berehun V.S., Burova Z.A. et al.* Aparatno-prohramne zabezpechennia monitorinhu obiektiv heneruvannya, transportuvannya ta spozhyvannya teplovoi enerhii [Software and hardware for monitoring of the generation, the transportation and the consumption of heat energy]. - K.: ITTF NAN Ukrainy, za red. chl.-kor. NAN Ukrainy V.P. Babaka [Edited by Member of the NAS of Ukraine V. Babak, K.: ITTF NAN of Ukraine]. 2016. 298 pp. (in Ukr.)

Отримано 27.08.2018

Received 27.08.2018