

ЗАПОБІГАННЯ КОНДЕНСАТОУТВОРЕННЮ В ДИМОВИХ ТРУБАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК З СИСТЕМАМИ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ

Н. М. Фіалко, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАНУ

Р. О. Навродська, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

С. І. Шевчук, кандидат технічних наук

Г. О. Пресіч, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Г. О. Гнедаш, кандидат технічних наук

Інститут технічної теплофізики НАН України

E-mail: nmfialko@ukr.net

Анотація. *Наведено результати досліджень щодо ефективності використання для антикорозійного захисту димових труб газоспоживальних опалювальних котелень повітряного методу запобігання конденсацію в газовідвідних трактах. Цей метод застосовується в теплоутилізаційних системах котельних установок, що характеризуються глибоким охолодженням газів (нижче температури точки роси водяної пари, що міститься в димових газах). Суть цього методу полягає у зміні тепловологісних характеристик димових газів після теплоутилізації при підмішуванні до них перед димовою трубою сухого та нагрітого повітря.*

Наведено схемні рішення теплоутилізаційних систем із використанням двох варіантів застосування повітряного методу. Перший варіант відповідає використанню одного повітряного методу при підмішуванні повітря від повітрянагрівача котельні. У другому варіанті для реалізації повітряного методу використовується повітря, нагріте в самій теплоутилізаційній системі.

Для оцінки ефективності повітряного методу проведено розрахункові дослідження щодо визначення тепловологісних характеристик димових газів в усті димових труб різного типу при різних режимах роботи котла протягом опалювального періоду.

Дослідження виконувались для двох запропонованих варіантів застосування повітряного методу при використанні повітря зі зміною його температури в широких межах. Розраховувались значення точки роси димових газів в усті димової труби та температури її внутрішньої поверхні при різних частках підмішуваного повітря. Визначалися параметри димових газів та підмішуваного повітря, що забезпечують відсутність конденсацію в димових трубах. За значеннями отриманих параметрів виконано порівняльний аналіз ефективності розглянутих варіантів застосування повітряного методу.

Показано, що для опалювальних котлів використання цього методу є найбільш ефективним в комплексних теплоутилізаційних системах при використанні

утилізованої теплоти для нагрівання зворотної тепломережної води та дуттьового повітря.

Ключові слова: газоспоживальні котли, димові гази, глибоке охолодження, повітряний метод, тепловологісний стан, димова труба, антикорозійний захист

Актуальність. Аналіз сучасного стану експлуатації димових труб котелень комунальної теплоенергетики України свідчить про зменшення їхнього ресурсу через посилене корозійне руйнування цих труб, що пов'язано з інтенсивним конденсатоутворенням на внутрішніх поверхнях вказаних газовідвідних каналів. При цьому посиленого корозійного руйнування тією чи іншою мірою зазнають наявні в експлуатації майже всі димові труби в залежності від виду використовуваного палива та типу труби (цегляна, залізобетонна або традиційна труба з вуглецевої сталі) [1,2]. Випадення конденсату на внутрішніх поверхнях стволів димових труб спричинює їхню корозію через наявність кисню та двоокисів вуглецю і азоту в утвореному конденсаті, водневий показник рН якого змінюється в межах 3...6 в залежності від виду палива та глибини охолодження димових газів.

Основними причинами інтенсифікації конденсатоутворення на поверхнях стволів димових труб є зниження теплового навантаження комунальних котелень через дефіцит палива в Україні та застосування сучасних теплоутилізаційних технологій без систем антикорозійного захисту газовідвідних трактів із охолодженням відхідних димових газів котлів нижче температури точки роси водяної пари, що міститься в цих газах.

Для захисту газовідвідних каналів котельних установок в умовах застосування теплоутилізаційних технологій застосовують теплові методи відвернення випадення конденсату на внутрішніх поверхнях цих каналів. Серед цих методів особливо вирізняються методи, пов'язані з тепловологісною обробкою димових газів котлів після їх теплоутилізації [3–5]. Це методи часткового байпасування відхідних газів котла повз теплоутилізаційне устаткування, підсушування охолоджених в цьому устаткуванні димових газів у додатковому теплообміннику-газопідігрівачі та підмішування до охолоджених газів сухого та нагрітого повітря.

Найбільш широкого застосування набули методи часткового байпасування та підігрівання охолоджених димових газів у газопідігрівачі. Застосування третього методу, що здобув назву повітряного, є дуже обмеженим через відсутність зазвичай у котельнях повітронагрівачів для його реалізації.

У сучасних розробках теплоутилізаційних систем застосовуються власні повітронагрівачі - теплоутилізатори, в яких шляхом використання утилізованої теплоти нагрівається дуттьове повітря [6-8]. Дана обставина може розширити сферу застосування повітряного методу. Тому робота, яка присвячена аналізу ефективності застосування повітряного методу для комбінованих теплоутилізаційних систем, є актуальною

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню повітряного методу присвячені поодинокі роботи, наприклад [4,5], в яких викладено результати досліджень ефективності підмішування до охолоджених в процесі теплоутилізації димових газів повітря від повітронагрівача котельні. У публікації [5], зокрема, вперше описано цей метод при встановленні за котлами конденсаційних теплоутилізаторів, призначених для нагрівання холодної води. Суть цього методу полягає у зниженні вологості та підвищенні температури охолоджених димових газів котельних установок перед надходженням їх до димової труби шляхом додавання до них частини σ нагрітого повітря із відносно невеликою абсолютною вологістю. При застосуванні методу відбувається зниження точки роси димових газів та підвищення їхньої температури до рівня, що забезпечує перевищення температури внутрішньої поверхні в усті димової над точкою роси. У роботі [4] наведено результати досліджень стосовно використання цього методу при нагріванні холодної води котелень технологічного призначення та зворотної води опалювальних котелень. Отримані результати свідчать про ефективність цього методу особливо при високій температурі підмішуваного повітря (250 °C) та за умов поглибленого охолодження відхідних димових газів. Однак, у зазначених публікаціях не виявлено даних щодо використання повітряного методу для запобігання конденсації в газовідвідних трактах при застосуванні теплоутилізаційних систем з власними повітронагрівачами. Тому дослідження

ефективності використання для захисту газовідвідних трактів котельних установок методу підмішування повітря, нагрітого в системах теплоутилізації, є основним завданням даної роботи.

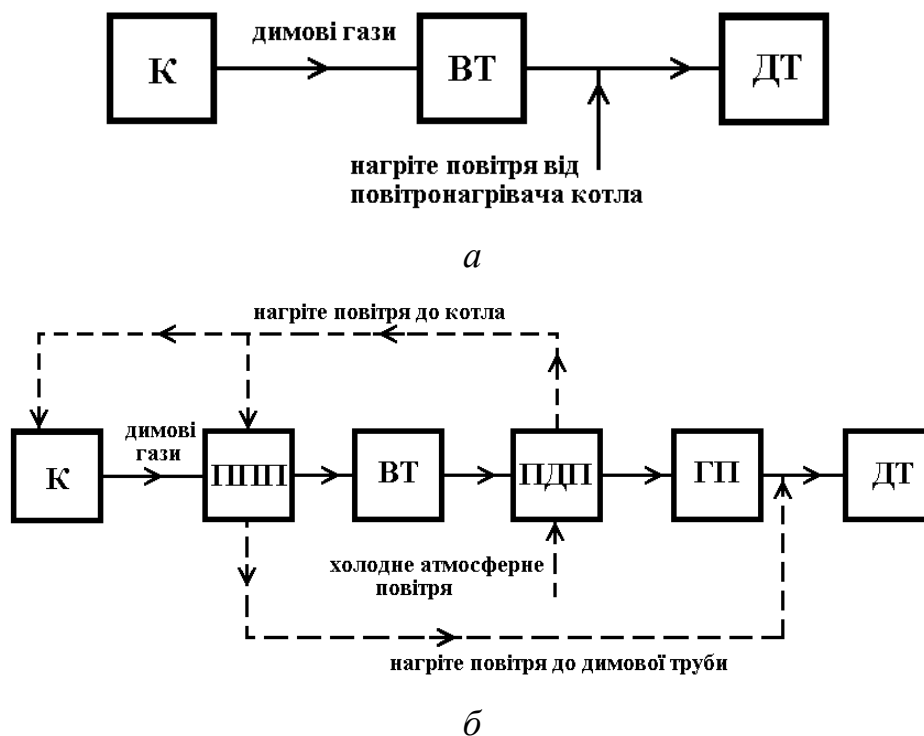
Мета дослідження – теплофізичне обґрунтування використання в опалювальних котельних установках з глибоким охолодженням димових газів повітряного методу запобігання конденсації в газовідвідних трактах.

Для досягнення поставленої мети вирішувались *основні завдання дослідження*, що полягали у визначенні для різних режимів опалювальних котлів параметрів тепловологісного стану устя димових труб різного типу при застосуванні повітряного методу запобігання конденсації в газовідвідних трактах.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження виконувались при застосуванні для котельних установок традиційних теплоутилізаційних систем з одиночними теплоутилізаторами, призначеними для нагрівання зворотної тепломережної води, та при доповненні цих систем теплоутилізаторами для нагрівання повітря, тобто при сумісному застосуванні водогрійних та повітрогрійних теплообмінників для утилізації теплоти відхідних димових газів котла. При цьому розглядалися різні варіанти використання у теплоутилізаційних схемах повітряного методу, а саме: за наявності в котельнях повітронагрівачів та за їх відсутності.

На рис. 1 наведено структурні схеми котельної установки з використанням вказаних варіантів повітряного методу антикорозійного захисту димових труб. В схемі рис.1, *а* для реалізації цього методу використовується повітря, нагріте в повітронагрівачі котельні, а на рис. 1, *б* відповідна тепловологісна обробка цих газів може здійснюватися з використанням двох теплових методів. (повітряного та підсушування газів у газопідігрівачі). У другому варіанті повітряний метод реалізується шляхом додавання в охолоджені димові гази повітря, нагрітого в самій теплоутилізаційній системі. У цьому варіанті застосовується система з комбінованим використанням утилізованої теплоти для нагрівання зворотної тепломережної води, дуттьового повітря та повітря для реалізації повітряного

методу. Необхідний рівень підмішування повітря та підігрівання газів визначається умовами їх охолодження у відповідних каналах та димовій трубі.



**Рис. 1. Принципові схеми котельної установки з використанням
одиначного (а) повітряного методу запобігання конденсатоутворенню в
газовідвідному тракті та комплексу теплових методів (б) повітряного та
підсушування газів у газопідігрівачі:**

К – котел; ВТ – водогрійний теплоутилізатор; ППП – підігрівач повітря для
реалізації повітряного методу; ПДП – підігрівач дуттьового повітря;
ГП – газопідігрівач; ДТ – димова труба

З метою визначення ефективності використання вказаних теплових методів для запобігання конденсатоутворенню у газовідвідних трактах при різних режимах роботи котлів протягом періоду опалення для наведених схем розраховувались температури точки роси димових газів t_p і поверхні $t_{пов}$ у самій вразливій ділянці тракту – усті димової труби. При цьому розглядалися цегляна та металева димові труби та умови роботи котлів, за яких при зниженні їх теплового навантаження до 50 % від номінального відбувається переведення відповідного числа котлів у номінальний режим при зменшенні їхньої загальної кількості. У розрахунках використовувались режимні параметри котла КСВа – 2,0Г, які відповідали

тепловому графіку системи опалення з розрахунковою температурою $t_{po} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та перепадом температур теплоносія 70 - 95 $^{\circ}\text{C}$ (таблиця).

1. Вихідні дані

Найменування параметра	Значення
Теплопродуктивність котла, МВт	2,0...1,0
Коефіцієнт надлишку повітря	1,1
Температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$	-20...10
Температура зворотної води, $^{\circ}\text{C}$	70...35
Температура відхідних газів, $^{\circ}\text{C}$	157...95
Витрата газів, кг/с	0,95...0,47
Витрата води, кг/с	19,4
Витрата повітря, кг/с	0,87...0,41
Вологовміст газів на виході з котла, кг/кг с.г.	0,135
Вологовміст повітря, кг/кг с.п.	0,01

Для оцінювання ефективності застосування теплового методу використовувалось відношення теплової потужності, необхідної для реалізації методу, до теплопродуктивності системи теплоутилізації:

$$\gamma = Q_{\text{вит}} / Q_{\text{ту}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

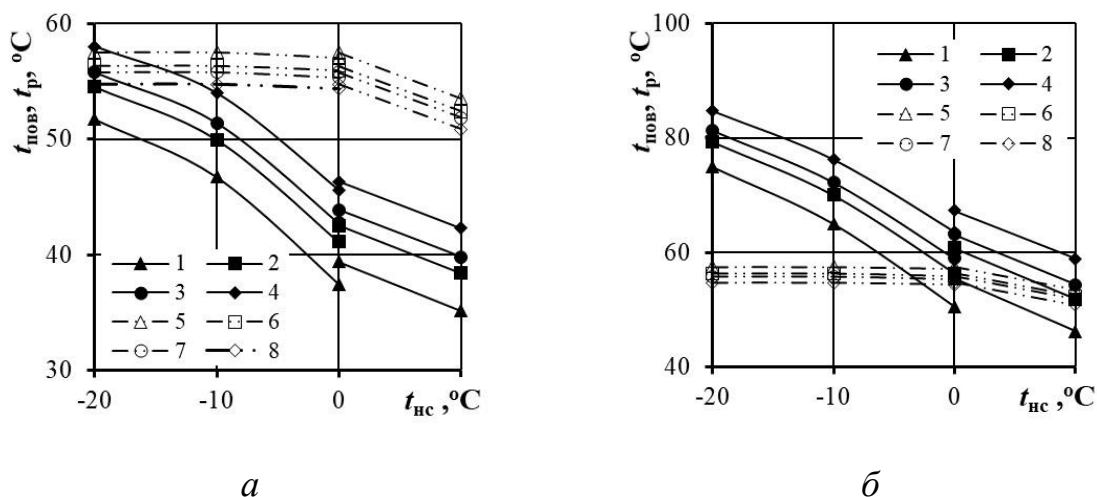


Рис. 2. Залежність температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в усті димової труби (1-4) і точки роси t_p (5-8) від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ при температурі гарячого повітря $t_{\text{гп}} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ при застосуванні повітряного методу для різних значень частки підмішаного повітря σ :

1, 5 – $\sigma = 0\%$; 2, 6 – 8% ; 3, 7 – 12% ; 4, 8 – 20% ;

a – металева димова труба; *б* – цегляна димова труба

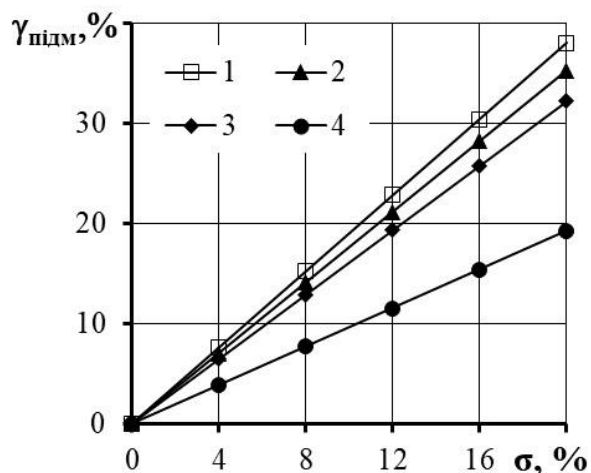


Рис. 3. Залежність коефіцієнта відносних витрат теплоти $\gamma_{\text{підм}}$ на реалізацію повітряного теплового методу від частки підмішаного повітря σ при

температурі гарячого повітря $t_{\text{гп}} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$:

1 – при $t_{\text{нс}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Результати досліджень та їх обговорення. Характерні результати виконаних досліджень при використанні в схемі теплоутилізації одиночного водогрійного теплоутилізатора та підмішування повітря від повітрянагрівача котельні наведено на рис. 2 та 3. Температура підмішаного гарячого повітря приймалась у практичному діапазоні нагрівання повітря в повітропідігрівачах котелень: $t_{\text{гп}} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Як видно з наведених даних, температура поверхні в усті димової труби суттєво залежить від типу труби, режиму експлуатації котельної установки протягом опалювального періоду та обсягу підмішування нагрітого повітря. Так для цегляної труби, що характеризується відносно високими теплоізоляційними властивостями корпусу, відвернення конденсатоутворення в усті димової труби протягом опалювального періоду забезпечується підмішуванням нагрітого повітря з часткою σ , що змінюється від 0 до 12 % в залежності від температури $t_{\text{нс}}$ навколишнього середовища. При цьому коефіцієнт витрат теплоти на підсушування охолоджених димових газів $\gamma_{\text{підм}}$ не перевищує 23 %.

Щодо металевої димової труби, то як свідчать отримані дані, запобігання конденсатоутворенню при частках підмішування σ до 20 % реалізується лише в режимах роботи котлів, близьких до номінального, які відповідають низьким

температурам навколишнього середовища ($t_{\text{nc}} < -10\text{ }^{\circ}\text{C}$). В інших режимах експлуатації котлів антикорозійний захист димових труб потребує значних додаткових витрат теплоти ($\gamma_{\text{підм}} > 40\text{ \%}$.) При експлуатації металевих димових труб в умовах застосування теплоутилізаційних технологій в котельній практиці дієвим є посилення ізоляційних властивостей корпусу труби шляхом нанесення на нього покриттів з низьким коефіцієнтом теплопровідності [3].

Наведені на рис. 2 дані свідчать також, що найбільш небезпечним режимом експлуатації димових труб з точки зору випадення в них конденсату є режим, який відповідає температурному інтервалу t_{nc} опалювального періоду від -5 до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. За цих умов через зниження теплового навантаження котлів та температури їхніх відхідних газів відбувається глибоке охолодження цих газів у теплообмінному устаткуванні, що потребує посилених заходів щодо їхнього подальшого осушування. При $t_{\text{nc}} < -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ цегляні та металеві з теплоізоляцією димові труби можуть надійно експлуатуватись без додавання нагрітого повітря.

Що стосується результатів досліджень ефективності захисту газовідвідних трактів для комбінованої теплоутилізаційної системи (див. рис. 1, б), то тут розглядалися дві ситуації. Перша стосувалася використання для запобігання конденсатоутворенню лише одного повітряного методу, а другий полягав у сумісному застосуванні вказаного методу та методу підсушування охолоджених димових газів у газопідігрівачі. Дані досліджень температур точки роси t_p газів і поверхні $t_{\text{пов}}$ в першій ситуації засвідчили про його низьку ефективність. Так через відносно низьку температуру ($63\ldots 96\text{ }^{\circ}\text{C}$) нагрітого в підігрівачі 2 повітря навіть при $\sigma = 100\text{ \%}$ в деяких режимах роботи котла не здійснювалась необхідна умова $t_{\text{пов}} > t_p$. При цьому коефіцієнт $\gamma_{\text{підм}}$ змінювався в межах $20\ldots 40\text{ \%}$. Власне через низьку ефективність цієї ситуації було запропоновано для другого варіанту використання для захисту димових труб комплексу теплових методів: повітряного та підігрівання у газопідігрівачі.

Результати досліджень ефективності запобігання конденсатоутворенню в цегляній димовій трубі в найбільш уразливому діапазоні температур експлуатації ($-5\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{\text{nc}} < +5\text{ }^{\circ}\text{C}$) для другого варіанту наведено на рис. 4.

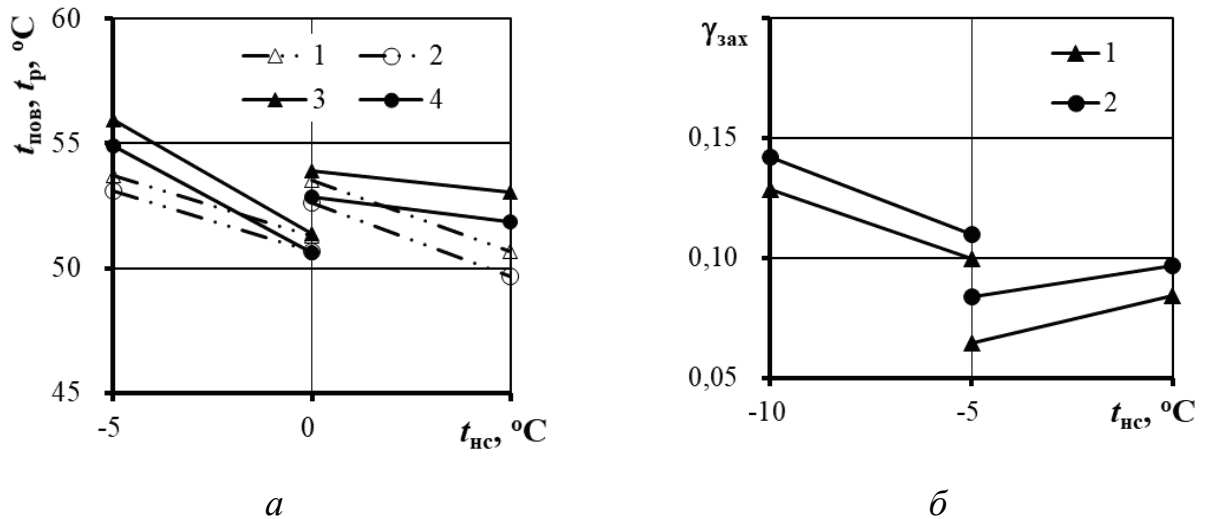


Рис. 4. Залежність від температури навколишнього середовища t_{nc} :

a – температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в усті цегляної димової труби (3, 4) і точки роси t_p (1, 2) при застосуванні повітряного методу з часткою підмішуваного повітря $\sigma = 5\%$ (2, 4) та без нього (1, 3);

б – коефіцієнта відносних витрат теплоти $\gamma_{\text{зах}}$ на реалізацію повітряного теплового методу з часткою підмішуваного повітря $\sigma = 5\%$ (2) та без нього (1)

Отримані дані свідчать, що застосування комплексу теплових методів в цих умовах може забезпечити запобігання конденсатоутворенню в димовій трубі при значно нижчих рівнях коефіцієнта затрат теплоти $\gamma_{\text{зах}}$ (приблизно в 1,3 рази). При цьому, частка σ підмішуваного повітря в розглянутому інтервалі температур навколишнього середовища змінюється від 0 до 5 %. Тобто, для деяких температур навколишнього середовища в опалювальний період теплоутилізаційна система може використовуватись без підмішування нагрітого повітря. При цьому в котельній установці збільшується на частку σ витрата нагрітого дуттьового повітря, що відповідно посилює ефект теплоутилізації відхідних димових газів котла.

У разі використання металевій димовій труби застосування пропонованого комплексу методів може також дати близький позитивний результат за умови відповідної теплоізоляції корпусу труби.

Отже, при застосуванні в теплоутилізаційних технологіях опалювальних котельних установок пропонованих систем захисту реалізується безпечна експлуатація димових труб.

Висновки і перспективи.

1. Виконано аналіз ефективності використання за умов застосування сучасних теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням димових газів для антикорозійного захисту димових труб опалювальних котелень повітряного методу запобігання конденсатоутворенню в газовідвідних трактах.

2. Визначено необхідні умови відвернення випадення конденсату в димових трубах для двох теплоутилізаційних схем, що відповідають двом варіантам застосування повітряного методу: одиночному та в комплексі з методом підігрівання вихідних газів у газопідігрівачі.

3. Показано, що при використанні в теплоутилізаційних технологіях котелень пропонованих методів реалізується безпечна експлуатація димових труб.

Отримані результати досліджень можуть бути використанні при проектуванні систем глибокої утилізації теплоти відхідних газів котельних установок для забезпечення антикорозійного захисту димових труб.

Список використаних джерел

1. Варнашов В. В., Киселев А. А., Гребнов В. С. Расчетные исследования режимов работы кирпичных дымовых труб в условиях эксплуатации. *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2016. №. 1. С. 1-9. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2016.1.018-026>
2. Яровой С. Н. Оценка технического состояния металлических дымовых труб ОАО Таганрогский металлургический завод после длительного срока эксплуатации. *Науковий вісник будівництва*. 2016. №. 3. С. 103-108.
3. Fialko N. M. et al. Heat methods of the gas-escape channels of boiler installations by heat-utilization technologies application. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2017. T. 27. №. 6. С. 125-130. <https://doi.org/10.15421/40270625>

4. Фіалко Н. М., Навродська Р. А., Шевчук С. І., Степанова А. І., Пресич Г. А., Гнедаш Г. А.. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок. Киев: Типография «Про формат», 2018. 248 с.

5. Бухаркин, Е. Н. Обеспечение надежных условий эксплуатации газоотводящего тракта в котельных с конденсационными экономайзерами. *Теплоэнергетика*, 9. 1997. С. 29-34.

6. Степанова А. І. Анализ эффективности и оптимизация комбинированной теплоутилизационной системы котельной установки. *Энергетика і автоматика*, 1. 2016. С.119-128.

7. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Пресич Г. О., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І., Степанова А. І. Комбіновані теплоутилізаційні системи для газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики. Київ: Типографія «Про формат». 2019. 192 с.

8. Fialko, N. M., G. O. Gnedash, R. O. Navrodska, G. O. Presich, and S. I. Shevchuk. Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. 29 (6). P. 79-82. <https://doi.org/10.15421/40290616>

References

1. Varnashov, V. V., Kiselev, A. A., Grebnov, V. S. (2016). Raschetnyye issledovaniya rezhimov raboty kirpichnykh dymovykh trub v usloviyakh ekspluatatsii [Computational studies of the operating modes of brick chimneys under operating conditions]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 1, 1-9. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2016.1.018-026>

2. Yarovoy, S. N. (2016). Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya metallicheskih dymrvykh trub OAO Taganrogskiy metallurgicheskiy zavod posle dlitel'nogo sroka ekspluatatsii [Assessment of the technical condition of metal chimneys of JSC Taganrog Metallurgical Plant after a long service life]. *Naukoviy visnik budivnitstva*, 3, 103-108.

3. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., Presich, G. O., Gnedash, G. O. (2017). Heat methods of the gas-escape channels of boiler installations by heat-utilization technologies application. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 125-130. <https://doi.org/10.15421/40270625>

4. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., Stepanova, A. I., Presich, G. O. & Gnedash, G. O., (2018). Teplovyye metody zashchity gazootvodyashchikh traktov kotel'nykh ustanovok [Thermal methods of protection of gas exhaust ducts of boiler plants]. Kyiv: «Pro format», 248.

5. Bukharkin, Ye. N. (1997). Obespecheniye nadezhnykh usloviy ekspluatatsii gazootvodyashchego trakta v kotel'nykh s kondensatsionnymi ekonomayzerami [Ensuring reliable operating conditions for the gas outlet path in boiler rooms with condensing economizers]. *Teploenergetika*, 9, 29-34.

6. Stepanova, A. I. (2016). Analiz effektivnosti i optimizatsiya kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemy kotel'noy ustanovki [Efficiency analysis and optimization of the combined heat recovery system of the boiler plant]. *Enenergetika і avtomatika*, 1, 119-128.

7. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Presich, G. O., Gnedash, G. O., Shevchuk, S. I., Stepanova, A. I. (2019). Kombinovani teploutilizatsiini systemy dlia gazospozhyvalnykh kotliv komunalnoi teploenergetyky [Combined heat recovery systems for gas-fired boilers of communal heat energy]. Kyiv: «Pro format», 192.

8. Fialko, N. M., Gnedash, G. O., Navrodska, R. O., Presich, G. O., Shevchuk, S. I. (2019). Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(6), 79-82. <https://doi.org/10.15421/40290616>

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КОНДЕНСАТООБРАЗОВАНИЯ В ДЫМОВЫХ ТРУБАХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С СИСТЕМАМИ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИИ

Н. М. Фиалко, Р. А. Навродская, С. И. Шевчук, Г. А. Пресич, Г. А. Гнедаш

Аннотация. Приведены результаты исследований эффективности использования для антикоррозионной защиты дымовых труб газопотребляющих отопительных котельных воздушного метода предотвращения конденсатообразования в газоотводящих трактах. Данный метод применяется в теплоутилизационных системах котельных установок, характеризующихся глубоким охлаждением газов (ниже температуры точки росы водяного пара, содержащегося в дымовых газах). Суть этого метода заключается в изменении тепловлажностных характеристик дымовых газов после теплоутилизации путем подмешивания к ним перед дымовой трубой сухого и нагретого воздуха.

Приведены схемные решения теплоутилизационных систем с использованием двух вариантов применения воздушного метода. Первый вариант соответствует использованию воздушного метода при подмешивании воздуха от воздухонагревателя котельной. Во втором варианте для реализации воздушного метода используется воздух, нагретый в самой теплоутилизационной системе.

Для оценки эффективности воздушного метода проведены расчетные исследования по определению тепловлажностных характеристик дымовых газов в устье дымовых труб разного типа при различных режимах работы котла в течение отопительного периода.

Исследования выполнялись для двух предложенных вариантов применения воздушного метода при использовании воздуха с изменением его температуры в широких пределах. Рассчитывались значения точки росы дымовых газов в устье дымовой трубы и температуры её внутренней поверхности при различных долях подмешиваемого воздуха. Определялись параметры дымовых газов и подмешиваемого воздуха, обеспечивающие отсутствие конденсатообразования в дымовых трубах. По значениям полученных параметров выполнен сравнительный анализ эффективности рассмотренных вариантов применения воздушного метода.

Показано, что для отопительных котлов применение этого метода является наиболее эффективным в комплексных теплоутилизационных системах при использовании утилизированной теплоты для нагрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха.

Ключевые слова: *газопотребляющие котлы, дымовые газы, глубокое охлаждение, воздушный метод, тепловлажностное состояние, дымовая труба, антикоррозионная защита*

PREVENTION OF CONDENSATION IN CHIMNEYS OF BOILER PLANTS WITH HEAT-RECOVERY SYSTEMS

N. Fialko, R. Navrodska, S. Shevchuk, G. Presich, G. Gnedash

Abstract. *The results of studies of the effectiveness of using the air method of preventing condensation formation in the gas-exhaust ducts for anticorrosive protection of chimneys of gas-fired heating boiler plants are presented. This method is used in heat-recovery systems of boiler plants, characterized by deep cooling of gases (below the dew point temperature of water vapor contained in exhaust-gases). The essence of this method is to change the thermal and humidity characteristics of exhaust-gases after heat-recovery by mixing dry and heated air in front of the chimney.*

Schematic solutions of heat-recovery systems using two options for using the air method are presented. The first option corresponds to the use of the air method when mixing air from the heater of boiler plant. In the second option, for the implementation of the air method, air heated in the heat-recovery system itself is used.

To assess the efficiency of the air method, computational studies were carried out to determine the thermal and moisture characteristics of flue gases at the mouth of different types of chimneys under different operating modes of the boiler during the heating period.

The studies were carried out for two proposed options for using the air method when using air with a change in its temperature over a wide range. The values of the dew point of the flue gases at the mouth of the chimney and the temperature of its inner surface were calculated at various proportions of the mixed air. The parameters of flue gases and mixed air were determined, ensuring the absence of condensation in the chimneys. Based on the values of the obtained parameters, a comparative analysis of the effectiveness of the considered options for using the air method was carried out.

It is shown that for heating boilers the use of this method is the most effective in complex heat-recovery systems when using recovered heat for heating return heat-network water and combustion air.

Key words: *gas-fired boilers, exhaust-gases, deep cooling, air method, thermal and humidity condition, chimney, anticorrosive protection*