

УДК 536.24:621.184.5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИМОВИХ ТРУБ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК З СИСТЕМАМИ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДНОЇ ТЕПЛОТИ

Фіалко Н.М.¹, Навродська Р.О.², Жученко І.М.³, Шевчук С.І.⁴, Гнедаш Г.О.⁵¹член-кореспондент НАН України, Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна, зав. відділу, професор, orcid.org/0000-0003-0116-7673, e-mail: nmfialko@ukr.net²канд. техн. наук, Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна, пров. наук. співр., старший науковий співробітник, orcid.org/0000-0001-7476-2962, e-mail: navrodska-ittf@ukr.net³аспірант, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна, orcid.org/0009-0005-7342-284X, e-mail: ivanzhuchenko@gmail.com⁴канд. техн. наук, Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна, ст. наук. співр., orcid.org/0000-0001-8046-0039, e-mail: s.i.shevchuk@gmail.com⁵канд. техн. наук, Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна, ст. наук. співр., orcid.org/0000-0003-0395-9615, e-mail: navrodska-ittf@ukr.net<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2025.6>

Наведено результати досліджень щодо ефективності використання для антикорозійного захисту залізобетонної димової труби сміттєспалювального котла методу зменшення теплових втрат з її корпусу за умов модифікації труби шляхом теплоізоляції або розміщення вставного газовідвідного ствола. Встановлено закономірності зміни основних тепловологісних показників в гирлі труби з вказаними модифікаціями у разі застосування повітряного методу запобігання конденсатоутворенню в газовідвідних трактах. Показано, що сумісне застосування розглянутих методів забезпечує надійну експлуатацію димової труби при коефіцієнті витрат теплоти на реалізацію методів, що не перевищує 1 % утилізованої теплоти.

The results of studies on the effectiveness of using the method of reducing heat losses from the hull of a reinforced concrete chimney of a waste incineration boiler when modifying it by thermal insulation or placing an insertion gas-exhaust pipe for the corrosion protection are presented. The regularities of changes in the main thermal and humidity indicators in the chimney mouth with the specified modifications when using the air method of preventing condensate formation in gas exhaust ducts were established. It is shown that the combined application of the studied methods ensures reliable operation of the chimney with a heat consumption coefficient for the methods implementation not exceeding 1% of the recovered heat.

Бібл. 15, рис. 7.

Ключові слова: димові труби, теплові методи, запобігання конденсатоутворенню, ефективність захисту від корозії. t – температура, °C; X – вологовміст, г/кг с.г.; σ – частка підмішуваного повітря, %; γ – коефіцієнт витрат теплоти на реалізацію методу, %.**Індекси:**

вх – вхід;

г – гази;

нс – навколишнє середовище;

пов – поверхня;

р – роса.

Вступ

Димові труби є кінцевою ланкою багатьох важливих технологічних процесів, які реалізуються в паливоспоживальних установках різного типу. Вихід з експлуатації цих димарів, як правило, призводить до зупинки всього виробництва, що зумовлює великі фінансові втрати. Тому від надійності, міцності та довговічності димових труб залежить безперебійна робота основного устаткування. Димові труби сміттєспалювальних устано-

вок призначенні для виконання тих же функцій, що і аналогічні споруди інших промислових та енергетичних об'єктів і їм притаманні спільні проблеми експлуатації.

Під час експлуатації димових труб в їхніх конструкціях накопичуються дефекти і пошкодження, які зрештою можуть призвести до остаточного руйнування труб і необхідності заміни [1-3]. Однією з причин пошкодження цих димарів є відхилення від проєктного режиму експлуатації, зокрема і через конденсатоутво-

рення на внутрішніх поверхнях [4-6]. Серед факторів, що посилюють руйнування димових труб шляхом недотримання проєктних умов їхньої експлуатації, є використання теплоутилізаційних технологій, які призводять до суттєвого зниження температури димових газів і зменшення їх швидкості у трубах [7-9].

Для антикорозійного захисту газовідвідних трактів паливоспоживальних установок та, зокрема, димових труб застосовують різноманітні заходи [10-13]. До них належать заходи, спрямовані на підвищення антикорозійних властивостей корпусів газоходів та димових труб, а також заходи, пов'язані зі створенням тепловологісної обстановки на внутрішній поверхні газовідвідних трактів, що запобігає конденсатоутворенню на цих поверхнях. У разі застосування теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням димових газів в газоспоживальних котельних установках для відвернення конденсатоутворення в димарях застосовують теплові методи тепловологісної обробки димових газів після теплоутилізації. Дослідження ефективності застосування трьох таких методів для сміттєспалювального котла [14] показало, що запобігання конденсатоутворенню в гирлі димової труби досягається лише при використанні двох методів: підігрівання охолоджених в системі теплоутилізації газів у спеціальному теплообміннику-газопідігрівачі та повітряного методу. Результати досліджень показали також, що застосування вказаних методів забезпечує відсутність конденсатоутворення в режимах котла, близьких до номінальних. Тому робота стосовно розроблення заходів щодо забезпечення нормативного тепловологісного стану експлуатації димових труб в усіх режимах котла є актуальною.

Мета роботи і постановка завдань досліджень

Мета роботи полягає у розробленні та дослідженні ефективності заходів щодо запобігання конденсатоутворенню в димових трубах сміттєспалювального опалювального котла за умов застосування технології глибокого охолодження димових газів.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі завдання:

- дослідити ефективність використання для запобігання конденсатоутворенню в димовій трубі теплового методу зменшення теплових витрат з корпусу труби при її модифікації шляхом теплоізоляції або розміщення вставного газовідвідного ствола;
- встановити закономірності зміни основних тепловологісних показників в гирлі модифікованих труб за умов використання повітряного методу запобігання конденсатоутворенню в газовідвідних трактах.

Методика проведення досліджень.

Використовувались відомі методи теплового розрахунку котельних установок та димових труб, а також результати власних досліджень теплообміну [15] при глибокому охолодженні димових газів, які застосовувались і в [14].

Розрахункові дослідження виконувались, як і в роботі [14], для опалювального котла з продуктивністю спалювання твердих побутових відходів 5 т/год, оснащеного комбінованою системою утилізації теплоти відхідних димових газів з використанням утилізованої теплоти для попереднього нагрівання повітря на горіння та зворотної тепломережної води перед надходженням цих теплоносіїв до котла (рис. 1). Температура та вологовміст димових газів за котлом становили $200 \div 250$ °С та $0,15 \div 0,25$ кг/кг с.г. відповідно. Відносне теплове навантаження котла змінювалось в діапазоні 100 – 40 % відповідно до зміни температури навколишнього середовища від -20 до +10 °С. За результатами виконаних теплових розрахунків встановлено, що завдяки використанню пропонованої теплоутилізаційної системи ККД котла підвищується на 6–8 %. Температура димових газів після їх теплоутилізації змінювалась в межах 84–52 °С, а температура нагріваного у повітрянагрівачі системи теплоутилізації повітря від 140 до 200 °С в залежності від режиму котла [14].

Визначалися також тепловологісні показники (температура поверхні $t_{\text{пов}}$ та точка роси t_r) в гирлі димової труби лише з залізобетонною оболонкою та модифікованої труби з теплоізоляцією (або вставним газовідвідним стволом). Для модифікованих димових труб розглядалося застосування повітряного методу, який полягає у підмішуванні в гази після теплоутилізації частки σ нагрітого в системі теплоутилізації повітря, що забезпечує зниження точки роси газоповітряної суміші, а також підвищення температури цієї суміші перед надходженням її у димову трубу. Частка σ є відношенням обсягу підмішуваного повітря до обсягу димових газів. Необхідною умовою безпечної експлуатації тракту (за відсутності конденсатоутворення) було дотримання в гирлі димової труби умови $t_{\text{пов}} \geq t_r$.

Розраховувався також коефіцієнт витрат теплоти γ на реалізацію повітряного методу, який є відношенням витрат теплоти на підігрівання частки σ підмішуваного повітря до максимального обсягу утилізованої теплоти (без застосування методу).

При виконанні досліджень розглядалася залізобетонна димова труба висотою 120 м, внутрішнім діаметром 1,8 м, товщиною оболонки 0,16 м. У разі теплоізоляції корпусу труби теплоізоляційним

матеріалом слугував універсальний та ефективний утеплювач: полотно з мінеральної вати з базальтового волокна ($\lambda = 0,038 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$; $\delta = 50 \text{ мм}$) ТУ 5284-048-00110473-2001. За умов монтажу в трубу вставного газовідвідного ствола повітряний прошарок між залізобетонною оболонкою і металевим стволом становив 0,2 м.

Результати.

Розглянемо, насамперед, показники тепловологісного стану: точку роси t_p та температуру внутрішньої $t_{\text{пов}}$ поверхні, в гирлі модифікованих димових труб (з теплоізоляцією та вставним стволом) за різних режимів експлуатації сміттєспалювального котла з пропонованою системою теплоутилізації без використання повітряного методу. На рис. 2, 3 наведено відповідні результати. Як видно, застосування теплового методу зменшення втрат теплоти з поверхні корпусу димової труби в навколишнє середовище дещо поліпшує тепловологісний режим її експлуатації, але не забезпечує відвернення випадення конденсату в гирлі вказаних труб в усіх режимах їх експлуатації. Так запобігання конденсатоутворенню реалізується лише за від'ємних температур атмосферного повітря, тобто за великих теплових навантажень котла, для усіх розглянутих температур та вологовмістів відхідних димових газів.

Проаналізуємо тепер ефективність сумісного використання для запобігання конденсатоутворенню в

гирлі димової труби двох методів (зменшення теплових втрат з поверхні корпусу труби та повітряного методу). Графіки рис. 4, 5 ілюструють характерні результати розрахункових досліджень щодо тепловологісних показників в гирлі модифікованої труби з одним шаром теплоізоляції в різних режимах її експлуатації та за різних параметрів димових газів на вході в пропоновану систему теплоутилізації.

За результатами виконаних розрахунків витрати теплоти на реалізацію повітряного методу для відвернення випадення конденсату в гирлі розглянутої димової не перевищують 1 % утилізованої теплоти.

Отже, аналіз виконаних досліджень свідчить про хорошу результативність сумісного використання двох розглянутих методів у всіх режимах експлуатації установки спалювання твердих побутових відходів. Для запобігання конденсатоутворенню у гирлі залізобетонної теплоізолюваної димової труби достатньо використання одного шару вибраної теплоізоляції. При цьому частка підмішуваного повітря не перевищує 5 %.

На рис. 6, 7 наведено аналогічні тепловологісні показники в гирлі модифікованої залізобетонної димової труби зі вставним газовідвідним стволом для сміттєспалювальної установки з водогрійним котлом та комбінованою системою теплоутилізації димових газів у разі підмішування до охолоджених димових газів нагрітого повітря.

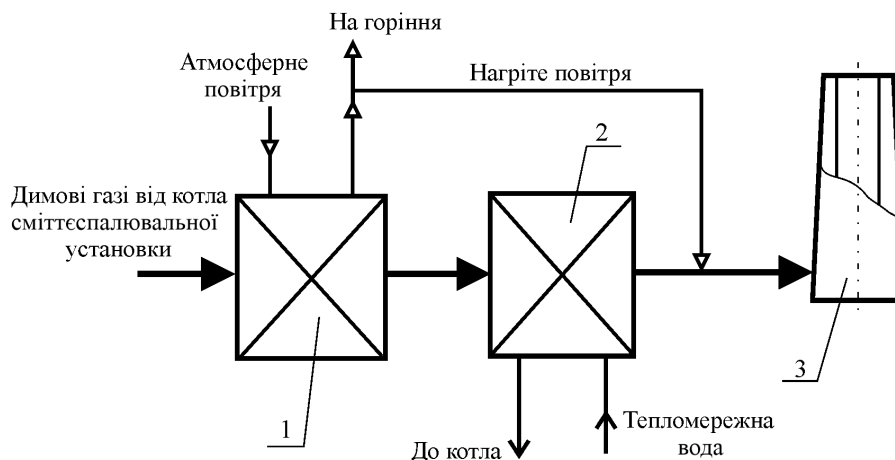


Рис. 1. Сумісне використання повітряного методу та методу зменшення теплових втрат в навколишнє середовище для запобігання конденсатоутворенню в газовідвідному тракті котла з комбінованою системою теплоутилізації: 1 – повітрянагрівач; 2 – водопідігрівач; 3 – димова труба теплоізолювана або зі вставним стволом.

Fig. 1. Combined use of the air method and the method of reducing heat losses to the environment to prevent condensation in the gas exhaust duct of a boiler with a combined heat recovery system: 1 – air heater; 2 – water heater; 3 – thermally insulated chimney or with an insertion pipe.

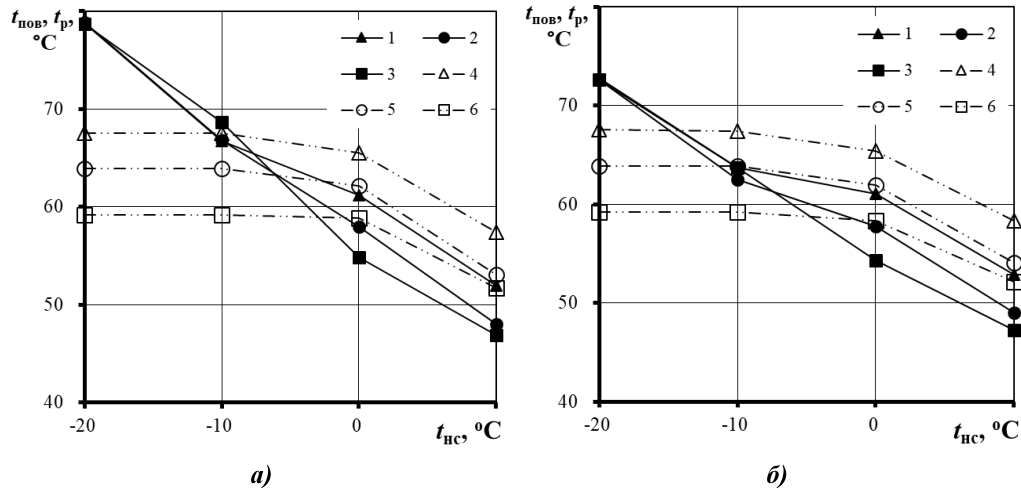


Рис. 2. Залежність від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в гирлі димової труби (1-3) і точки роси t_p (4-6) за різних температур t_{ex} і вологовмісту X_{ex} димових газів після котла у разі застосування систем теплоутилізації та теплоізоляції труби:

а) $t_{\text{ex}}^{\text{ex}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{ex}}^{\text{ex}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 4 – $X_{\text{ex}} = 250$ г/кг с.г.; 2, 5 – $X_{\text{ex}} = 200$ г/кг с.г.; 3, 6 – $X_{\text{ex}} = 150$ г/кг с.г.

Fig. 2. Dependence on the ambient temperature t_{amb} of the inner surface temperature t_s at the chimney mouth (1-3) and the dew point t_{dp} (4-6) at different temperatures $t_{\text{in}}^{\text{ex}}$ and moisture content X_{in} of exhaust gases after the boiler in the case of using heat recovery systems and chimney insulation:

а) $t_{\text{in}}^{\text{ex}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{in}}^{\text{ex}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 4 – $X_{\text{in}} = 250$ г/кг с.г.; 2, 5 – $X_{\text{in}} = 200$ г/кг с.г.; 3, 6 – $X_{\text{in}} = 150$ г/кг с.г.

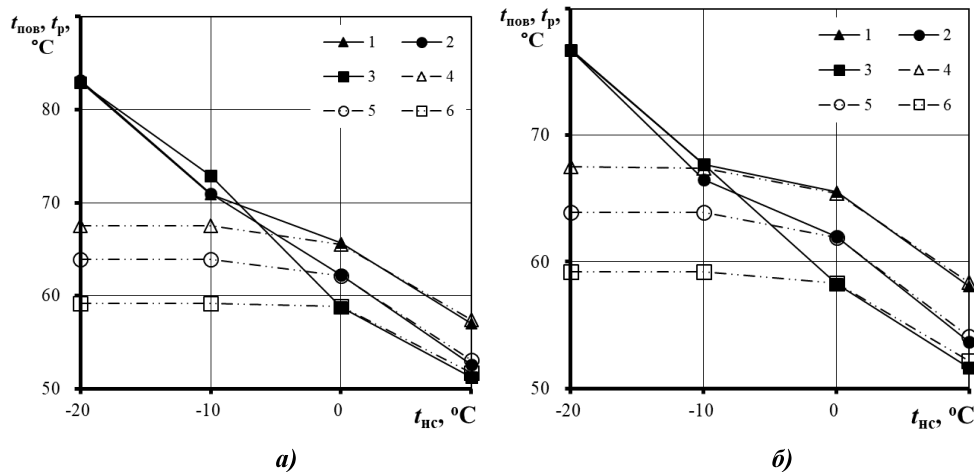


Рис. 3. Залежність від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в гирлі димової труби (1-3) і точки роси t_p (4-6) за різних температур t_{ex} і вологовмісту X_{ex} димових газів після котла у разі застосування систем теплоутилізації та розміщення в трубі вставного ствола:

а) $t_{\text{ex}}^{\text{ex}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{ex}}^{\text{ex}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 4 – $X_{\text{ex}} = 250$ г/кг с.г.; 2, 5 – $X_{\text{ex}} = 200$ г/кг с.г.; 3, 6 – $X_{\text{ex}} = 150$ г/кг с.г.

Fig. 3. Dependence on the ambient temperature t_{amb} of the inner surface temperature t_s at the chimney mouth (1-3) and the dew point t_{dp} (4-6) at different temperatures $t_{\text{in}}^{\text{ex}}$ and moisture content X_{in} of exhaust gases after the boiler in the case of using heat recovery systems and placement of an insertion pipe in the chimney:

а) $t_{\text{in}}^{\text{ex}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{in}}^{\text{ex}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 4 – $X_{\text{in}} = 250$ г/кг с.г.; 2, 5 – $X_{\text{in}} = 200$ г/кг с.г.; 3, 6 – $X_{\text{in}} = 150$ г/кг с.г.

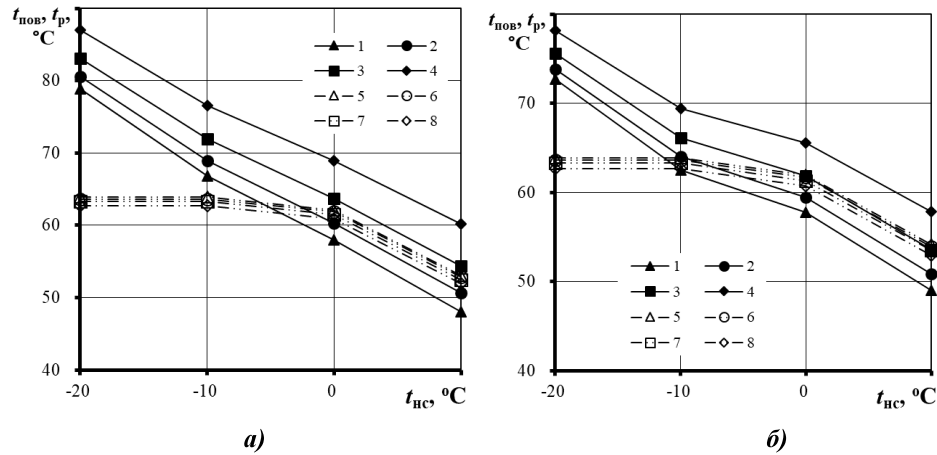


Рис. 4. Залежність від температури навколишнього середовища t_{nc} температури внутрішньої поверхні $t_{нов}$ в гирлі теплоізовованої димової труби (1-4) і точки роси t_p (5-8) за різних температур t_{ex} та вологовмісті 200 г/кг с.г. димових газів після котла та часток підмішуваного повітря σ :

а) $t_{ex} = 250^\circ\text{C}$; б) $t_{ex} = 200^\circ\text{C}$; 1, 5 – $\sigma = 0\%$; 2, 6 – 2% ; 3, 7 – 5% ; 4, 8 – 10% .

Fig. 4. Dependence on the ambient temperature t_{amb} of the inner surface temperature t_s at the mouth of a heat-insulated chimney (1-4) and the dew point t_p (5-8) at different temperatures t_{in} and moisture content of 200 g/kg d.g. of exhaust gases after the boiler and particles of admixed air σ :

а) $t_{in} = 250^\circ\text{C}$; б) $t_{in} = 200^\circ\text{C}$; 1, 5 – $\sigma = 0\%$; 2, 6 – 2% ; 3, 7 – 5% ; 4, 8 – 10% .

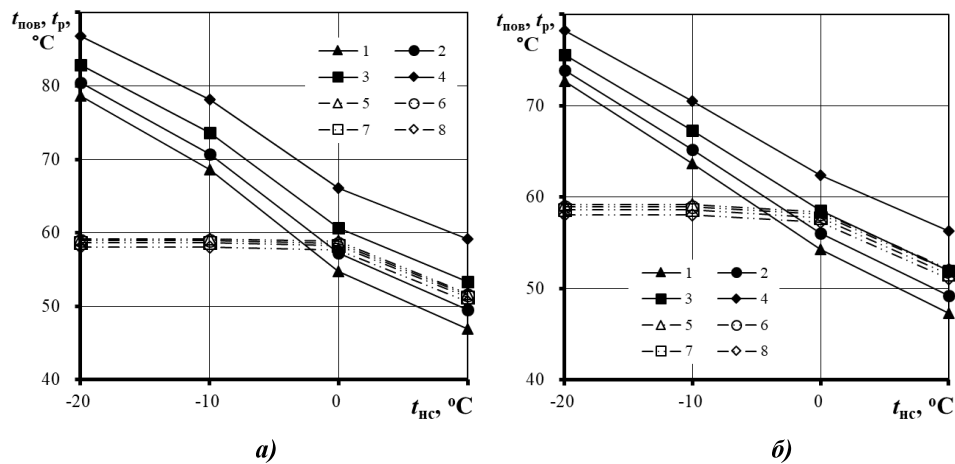


Рис. 5. Залежність від температури навколишнього середовища t_{nc} температури внутрішньої поверхні $t_{нов}$ в гирлі теплоізовованої димової труби (1-4) і точки роси t_p (5-8) за різних температур t_{ex} та вологовмісті 150 г/кг с.г. димових газів після котла та часток підмішуваного повітря σ :

а) $t_{ex} = 250^\circ\text{C}$; б) $t_{ex} = 200^\circ\text{C}$; 1, 5 – $\sigma = 0\%$; 2, 6 – 2% ; 3, 7 – 5% ; 4, 8 – 10% .

Fig. 5. Dependence on the ambient temperature t_{amb} of the inner surface temperature t_s at the mouth of a heat-insulated chimney (1-4) and the dew point t_p (5-8) at different temperatures t_{in} and moisture content of 150 g/kg d.g. of exhaust gases after the boiler and particles of admixed air σ :

а) $t_{in} = 250^\circ\text{C}$; б) $t_{in} = 200^\circ\text{C}$; 1, 5 – $\sigma = 0\%$; 2, 6 – 2% ; 3, 7 – 5% ; 4, 8 – 10% .

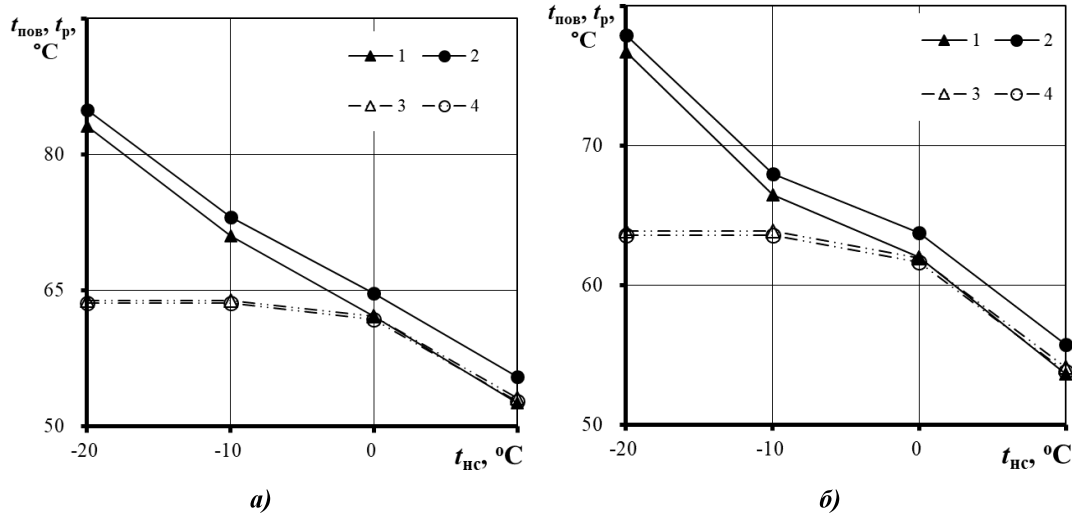


Рис. 6. Залежність від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}^{\text{в}}$ в гирлі димової труби зі вставним стволом (1, 2) і точки роси t_p (3, 4) за різних температур t_{ex} та вологовмісті 200 г/кг с.г. димових газів після котла та часток підмішуваного повітря σ :
а) $t_{\text{ex}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{ex}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 3 – $\sigma = 0\%$; 2, 4 – 2% .

Fig. 6. Dependence on the ambient temperature t_{amb} of the inner surface temperature t_s at the chimney mouth with an insertion pipe (1, 2) and the dew point t_{dp} (3, 4) at different temperatures t_{gin} and moisture content of 200 g/kg d.g. of exhaust gases after the boiler and particles of admixed air σ :
а) $t_{\text{in}}^{\text{g}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{in}}^{\text{g}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 3 – $\sigma = 0\%$; 2, 4 – 2% .

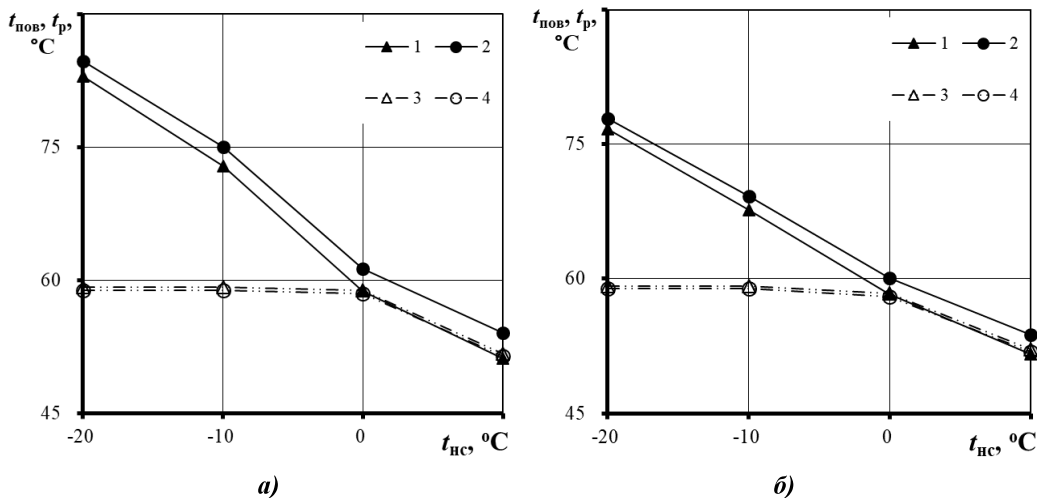


Рис. 7. Залежність від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}^{\text{в}}$ в гирлі димової труби зі вставним стволом (1, 2) і точки роси t_p (3, 4) за різних температур t_{ex} та вологовмісті 150 г/кг с.г. димових газів після котла та часток підмішуваного повітря σ :
а) $t_{\text{ex}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{ex}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 3 – $\sigma = 0\%$; 2, 4 – 2% .

Fig. 7. Dependence on the ambient temperature t_{amb} of the inner surface temperature t_s at the chimney mouth with an insertion pipe (1, 2) and the dew point t_{dp} (3, 4) at different temperatures t_{in}^{g} and moisture content of 200 g/kg d.g. of exhaust gases after the boiler and particles of admixed air σ :
а) $t_{\text{in}}^{\text{g}} = 250^{\circ}\text{C}$; б) $t_{\text{in}}^{\text{g}} = 200^{\circ}\text{C}$; 1, 3 – $\sigma = 0\%$; 2, 4 – 2% .

Отримані результати свідчать, що використання повітряного методу в комплексі з розміщенням в залізобетонній трубі вставного газовідвідного ствола з утворенням повітряного прошарку між основною трубою і вставним стволом також забезпечує запобігання конденсатоутворенню в гирлі цієї труби у всіх режимах розглянутого котла. При цьому максимальна частка підмішуваного повітря має лише дещо перевищувати 2 %. За цих умов розрахований коефіцієнт витрат теплоти γ на реалізацію повітряного методу є не більшим за 1 %.

Отже, за результатами виконаних досліджень за умов використання розглянутих варіантів сумісного використання теплових методів, а саме повітряного та зменшення теплових втрат в навколишнє середовище з поверхні залізобетонної димової труби, реалізується безпечний режим її експлуатації в усіх режимах розглянутого сміттєспалювального котла, оснащеного комбінованою системою теплоутилізації димових газів.

Висновки.

1. Виконано розрахункові дослідження щодо ефективності використання для антикорозійного захисту залізобетонної димової труби сміттєспалювального опалювального котла з системою теплоутилізації методу зменшення теплових втрат з корпусу труби. Показано, що цей метод у разі модифікації труби шляхом її зовнішньої теплоізоляції або використання вставного газовідвідного стола не забезпечує відвернення конденсатоутворення в гирлі димової труби у всіх режимах експлуатації. Запобігання конденсатоутворенню реалізується лише за від'ємних температур навколишнього середовища для усіх розглянутих температур та вологовмістів відхідних газів котла;

2. Встановлено закономірності зміни показників тепловологісного стану (точки роси t_p та температури внутрішньої $t_{\text{пов}}$ поверхні в гирлі димової труби) за різних режимів експлуатації сміттєспалювального котла у разі сумісного використання двох теплових методів, а саме: повітряного методу та методу зменшення теплових втрат в навколишнє середовище (шляхом теплоізолювання корпусу димової труби чи монтування в неї вставного газовідвідного ствола). За результатами аналізу вказаних показників показано, що у разі використання двох методів реалізується безпечна експлуатація димової труби в усіх режимах котла з комбінованою системою теплоутилізації. При цьому частка підмішуваного повітря σ не перевищує 5 %, а коефіцієнт витрат теплоти γ на реалізацію повітряного методу є не вищим за 1 %.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Burada C. O. Degradation at the industrial dispersion and waste gas chimneys. Case study. *Metalurgia International*, 2011. no 16(1), P. 92.
2. Корсун В. И. О предупреждении аварийных ситуаций на промышленных дымовых и вентиляционных трубах. Будівельні конструкції. 2014. № 81. С. 244–253.
3. Яворська О. І. Методика оцінки залишкового ресурсу цегляних димових труб з урахуванням фактичного технічного стану. Проблеми розвитку міського середовища. 2011. № 5 (6). С. 277–284.
4. Яровий С. М. Типологія дефектів та пошкоджень металевих димових і вентиляційних труб, статистичний аналіз пошкоджуваності. Науковий вісник будівництва. 2020. № 99.1. С. 213–221.
5. Корсун В. И., Губанов В. В. О состоянии промышленных дымовых и вентиляционных труб в Украине и мерах по обеспечению их эксплуатационной надежности. Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2003. № 2. С. 19–22.
6. Яровой С. Н. Долговечность и остаточный ресурс металлических дымовых труб с учетом температурного и коррозионного воздействия. Науковий вісник будівництва. 2017. № 2 (88). С. 110–114.
7. Долинский А. А., Фялко Н. М., Навродская Р. А., Гнедаш Г. А. Основные принципы создания теплоутилизационных технологий для котельных малой теплоэнергетики. Промышленная теплотехника. 2014. № 4. С. 27–36.
8. Фялко Н. М., Навродская Р. А., Гнедаш Г. А., Шевчук С. И., Дашковская И. Л. Осушение дымовых газов котельных установок в конденсационных теплоутилизаторах. Международный научный журнал "Интернаука". 2019. № 15. С. 109–111. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-15>
9. Фялко Н.М., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Пресіч Г.О., Гнедаш Г.О. Запобігання конденсатоутворенню в димових трубах котельних установок з системами теплоутилізації. Енергетика і автоматика №4. 2021. С.5-17. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.04.005>
10. Войцехівський О.В., Попов В.О., Дорохова Н.Д. Інноваційні технології улаштування і реконструкції залізобетонних димових труб. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2017. № 2. С. 13–18.
11. Фялко Н. М., Навродская Р. А., Шевчук С. И., Степанова А. И., Пресич Г. А., Гнедаш Г. А. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок: монография.: Київ: «Про формат». 2018. 248 с. ISBN 978- 966-02-8640-5.

12. *Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., Stepanova A.I.* Improvement of environmental conditions by applying heat-recovery technologies of boiler plants. *Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk*. 2021. №6. P.148-152. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-6/148>
13. *Fialko, N., Navrodska, R., Shevchuk, S., & Gnedash, G.* (2023). Anticorrosive Protection of Gas Exhaust Ducts of Boiler Plants with Heat-Recovery Systems. In *Systems, Decision and Control in Energy V* (pp. 425-435). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_22
14. *Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Жученко І. М., Шевчук С. І., Гнедаш Г. О.* Проблеми експлуатаційної надійності газовідвідних трактів установок спалювання твердих побутових відходів та шляхи їх вирішення. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2025. т. 47, №1. С. 7–18. <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2025.1>
15. *Fialko N.M., Navrodska R.O., Gnedash G.O., Presic G.O., and Shevchuk S.I.* Study of Heat Recovery Systems for Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units. *Nauka innov*. 2020. V.16. no.3. P.47-53. <https://doi.org/10.15407/scin16.03.047>

ENSURING RELIABLE OF CHIMNEYS WASTE INCINERATORS WITH EXHAUST HEAT RECOVERY SYSTEMS

Fialko N.¹, Navrodska R.², Zhuchenko I.³, Shevchuk S.⁴, Gnedash G.⁵

¹Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Maria Kapnist st., Kyiv, 03057, Ukraine, Head of Department, Professor, orcid.org/0000-0003-0116-7673, e-mail: nmfialko@ukr.net

²PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Maria Kapnist st., Kyiv, 03057, Ukraine, Leading Researcher, Senior Research Scientist, orcid.org/0000-0001-7476-2962, e-mail: navrodska-ittf@ukr.net

³postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021, orcid.org/0009-0005-7342-284X, e-mail: ivanzhuchenko@gmail.com

⁴PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Maria Kapnist st., Kyiv, 03057, Ukraine, Senior Researcher, orcid.org/0000-0001-8046-0039, e-mail: s.i.shevchuk@gmail.com

⁵PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Maria Kapnist st., Kyiv, 03057, Ukraine, Senior Researcher, orcid.org/0000-0003-0395-9615, e-mail: navrodska-ittf@ukr.net

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2025.6>

The work is devoted to research on the development and scientific and technical substantiation of measures to ensure anticorrosion protection of solid waste incineration plants chimneys. The reliability, strength, and durability of these chimneys are essential for the uninterrupted operation of the main equipment of these plants. One of the reasons for the chimneys destruction is a deviation from the design mode of their operation, in particular due to condensation on the internal surfaces of these gas exhaust channels. Among the factors that exacerbate non-compliance with the design conditions of chimneys operation is the use of modern heat recovery technologies that lead to a significant decrease in exhaust gas temperature and a decrease in their velocity in the chimneys. The purpose of the work is to develop and investigate the effectiveness of measures to prevent

condensation in the chimneys of a waste incineration heating boiler under conditions of using the deep cooling exhaust gas technology. The main objectives of the work were to determine the efficiency indicators of preventing condensation in the chimney when using the method of reducing heat losses from the chimney hull under conditions of its modification by heat insulation or placement of an insertion gas exhaust pipe; to establish the regularity of changes in the main thermal and humidity indicators at the chimney mouth with the specified modifications when using the air method of preventing condensation in gas exhaust ducts. Known thermal calculation methods of heat installations and the results of our own research into heat exchange during deep cooling of exhaust gases of boiler plants were used. The results of research of the main indicators of the thermal and humidity state (dew point t_{dp} and internal surface temperature t_s at the chimney mouth) under the conditions of using combined heat recovery systems and using the method of reducing heat losses from the chimney hull through the specified modifications are presented. It is shown that this method does not prevent the condensate formation at the mouth of the reinforced concrete chimney in all operating modes of the considered boiler during the heating period. Condensation prevention is only realized at negative ambient temperatures corresponding to high boiler heat loads. The regularities of changes in the studied indicators in the case of the combined use of two thermal methods, namely: a) the air method, which consists in mixing a part σ of the air heated in the heat recovery system with the exhaust gases cooled in the heat recovery system; b) the method of reducing heat losses to the environment (by heat insulation of the chimney hull or installing an insertion gas exhaust pipe in it). Based on the analysis results of the studied indicators, it is shown that using these two methods ensures the safe operation of the considered chimney in all boiler modes. At the same time, the part of mixed air σ does not exceed 5 %, and the heat consumption coefficient γ for the implementation of the methods is no higher than 5 % of the volume recovered heat.

References 15, figures 7.

Key words: chimneys, thermal methods, condensation prevention, corrosion protection efficiency.

1. Burada C. O. Degradation at the industrial dispersion and waste gas chimneys. Case study. Metalurgia International, 2011. no 16(1), P. 92.

2. Korsun V. I. O preduprezhdenii avariynykh situatsiy na promyshlennykh dymovykh i ventilatsionnykh trubakh [On prevention of emergencies on industrial chimneys and ventilation pipes]. Budivelni konstruktsii [Building structures]. 2014. № 81. P. 244–253. (in rus.)

3. Yavorska O. I. Metodyka otsinky zalyshkovoho resursu tseglianykh dymovykh trub z urakhuvanniam faktychnoho stanu [Methodology for estimating the residual service life of brick chimneys taking into account the actual technical condition]. Problemy rozvytku miskoho seredovyscha [Problems of urban development]. 2011. № 5 (6). P. 277–284. (in ukr.)
4. Yaroviy S. M. Typolohiia defektiv ta poshkodzen metalevykh dymovykh ventiliatsiynykh trub, statystychnyy analiz poshkodzhuvanosti [Typology of defects and damages of metal chimneys and ventilation pipes, statistical analysis of damageability]. Naukovyy visnyk budivnytstva [Scientific bulletin of construction]. 2020. № 99.1. P. 213–221. (in ukr.) <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2020-99-1-222-227>
5. Korsun V. I., Hubanov V. V. O sostoianii na promyshlennykh dymovykh i ventiliatsionnykh trub v Ukraine I merakh po obespecheniiu ikh ekspluatatsionnoy nadezhnosti [On the state of industrial chimneys and ventilation pipes in Ukraine and measures to ensure their operational reliability]. Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури [bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2003. № 2. P. 19–22. (in rus.)
6. Yarovyy S. M. Dolgovechnost I ostatochnyy resurs metallicheskih dymovykh trub s uchetom temperaturnogo i korrozionnogo vozdeystviia [Durability and residual life of metal chimneys taking into account temperature and corrosion effects]. Naukovyy visnyk budivnytstva [Scientific bulletin of construction]. 2017. № 2 (88). C. 110–114. (in rus.)
7. Dolinsky A.A., Fialko N.M., Navrodskaia R.A., Gnedash G. A. Osnovnye printsipy sozdaniia teploutilizatsionnykh tekhnologiy dlia kotelnykh maloy teploenergetiki [Basic principles of heat recovery technologies for boiler of the low thermal power]. Promyshlennaia teplotekhnika [Industrial heat engineering]. 2014. № 4. P.27–36. (in rus.)
8. Fialko N. M., Navrodskaia R. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I., Dashkovskaia I. L. Osusheniie dymovykh gazov kotelnykh ustanovok v kondensatsionnykh teploutilizatorakh [Drying exhaust-gases of boiler plants in condensation heat-recovery exchangers]. International Scientific Journal “Internauka”. 2019. № 15. P. 109–111. (in rus.) <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-15>
9. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Presich G., Gnedash G. Zapobihannia kondensatoutvorenniu v dymovykh trubakh kotelnykh ustanovok z systemamy teploutylizatsii [Prevention of condensation in chimneys of boiler plants with heat-recovery systems]. Enerhetyka i avtomatyka [Energy and Automation]. 2021. №4. P. 5–17. (in ukr.) <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.04.005>
10. Voicehivsky O., Popov V., Dorohova N. Inovatsiyni tekhnolohii ulashtuvannia I rekonstruksii zalizobetonnykh dymovykh trub [Innovative technologies of embroidery and reconstruction of rail concrete chimneys]. Suchasni tekhnolohii, materialy s konstruksii v budivnytstvi [Modern Technology Materials and Design in Construction]. 2017. № 2. P. 13–18. (in ukr.)
11. Fialko N. M., Navrodskaia R. A., Shevchuk S. I., Stepanova A. I., Presich G.O., Gnedash G.O. Teplovyye metody zashchity gazootvodyashchikh traktov kotelnykh ustanovok [Thermal methods of gas exhaust ducts protection of boiler plants]. Kyiv: «Pro format». 2018. 248 p. ISBN 978- 966-02-8640-5. (in rus.)
12. Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., Stepanova A.I. Improvement of environmental conditions by applying heat-recovery technologies of boiler plants. Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. 2021. №6. P.148-152. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-6/148>
13. Fialko, N., Navrodska, R., Shevchuk, S., & Gnedash, G. (2023). Anticorrosive Protection of Gas Exhaust Ducts of Boiler Plants with Heat-Recovery Systems. In Systems, Decision and Control in Energy V (pp. 425-435). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_22
14. Fialko N., Navrodska R., Zhuchenko I., Shevchuk S., Gnedash G. Problemy ekspluatatsiynoy nadiynosti hazovidvidnykh traktiv ustanovok spalivannia tverdykh pobutovykh vidkhodiv ta shliakhy yikh vyrishennia [Problems of gas exhaust ducts operational reliability of municipal solid waste incineration plants and ways to solve them]. Teplofizyka ta teploenerhetyka [Thermophysics and Thermal Power Engineering]. 2025. V. 47, №1. P. 7–18. (in ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2025.1>
15. Fialko N.M., Navrodska R.O., Gnedash G.O., Presic G.O., and Shevchuk S.I. Study of Heat Recovery Systems for Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units. Nauka innov. 2020. V.16. no.3. P.47-53. <https://doi.org/10.15407/scin16.03.047>

Отримано 30.06.2025

Received 30.06.2025

Прийнято до друку 05.08.2025
Accepted for publication 05.08.2025