

Технічні науки

УДК 536.24:621.184.5

Фіалко Наталія Михайлівна

*член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор, завідувача відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Corresponding Member NAS of Ukraine,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Навродська Раїса Олександрівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Navrodska Raisa

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,
Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шевчук Світлана Іванівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Shevchuk Svitlana

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Жученко Іван Михайлович

*аспірант
Вінницького національного технічного університету*

Zhuchenko Ivan

*Postgraduate of the
Vinnytsia National Technical University*

Гнедаш Георгій Олександрович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Gnedash Georgii

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ДИМОВОЇ
ТРУБИ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНОГО КОТЛА ШЛЯХОМ
ДОДАВАННЯ НАГРІТОГО ПОВІТРЯ
PROVIDING ANTI-CORROSION PROTECTION OF THE WASTE
INCINERATION BOILER CHIMNEY BY ADDING HEATED AIR**

***Анотація.** Викладено результати досліджень ефективності використання повітряного методу запобігання конденсації в залізобетонній димовій трубі з теплоізоляцією та без неї для сміттєспалювального котла з системою теплоутилізації димових газів. Показано, що цей метод забезпечує відвернення випадення конденсату в усіх режимах котла лише за наявності теплоізоляції труби.*

***Ключові слова:** глибоке охолодження димових газів, запобігання конденсації, повітряний метод, теплоізоляція.*

***Summary.** The research results of the effectiveness of using the air method to prevent condensation in a reinforced concrete chimney with and without thermal insulation for a waste incinerator boiler with an exhaust gas heat recovery system are presented. It has been shown that this method prevents*

condensation in all boiler modes only if the chimney is thermally insulated.

Key words: *deep cooling of exhaust gases, prevention of condensation, air method, thermal insulation.*

Вступ. Димові труби є невід'ємною частиною і відповідальним елементом практично усіх паливоспоживальних енергетичних установок, зокрема і установок спалювання побутового сміття. До будівництва і безпечної експлуатації димових труб висуваються високі вимоги, з огляду на те, що основною функцією цих димарів є, зазвичай, забезпечення нормативних умов розсіювання шкідливих викидів, що утворюються при реалізації технологічних процесів вказаних установок. Від експлуатаційної надійності цих важливих споруд залежить безперебійна та екологічно безпечна робота промислових та енергетичних об'єктів [1, 2].

Однією з основних причин зниження надійності димових труб є їхнє корозійне руйнування через порушення тепловологісних режимів експлуатації, яке часто пов'язано із застосуванням теплоутилізаційних технологій, за яких реалізується зменшення температури та швидкості евакуйованих газів, що призводить до конденсатоутворення в димарях. Для запобігання конденсатоутворенню в димарях комунальних котелень використовують різні заходи та методи [3, 4]. До цих методів належать і методи тепловологісної обробки димових газів після теплоутилізації, зокрема і метод додавання нагрітого повітря у димові газу, охолоджені в процесі теплоутилізації [5]. Цей метод набув назву повітряного.

Метою поданої роботи є дослідження ефективності використання повітряного методу запобігання конденсатоутворенню в димовій трубі сміттєспалювального котла з комбінованою системою теплоутилізації.

Методи та завдання дослідження. У разі застосування повітряного методу відбувається підмішування в газу після теплоутилізації частки σ нагрітого повітря. При цьому реалізується зниження вологовмісту суміші

газів і повітря, а також підвищення температури цієї суміші перед надходженням її у димову трубу. Частка σ є відношенням обсягу підмішуваного повітря до обсягу димових газів $\sigma = G_{\text{ГТ}}/G_{\text{ТГ}}$. Схема застосування методу підмішування нагрітого повітря наведена на рис. 1. В схемі реалізація повітряного методу відбувається шляхом додавання в газовідвідний тракт після водогрійного теплоутилізатора повітря, нагрітого в повітрогрійному теплоутилізаторі системи теплоутилізації.

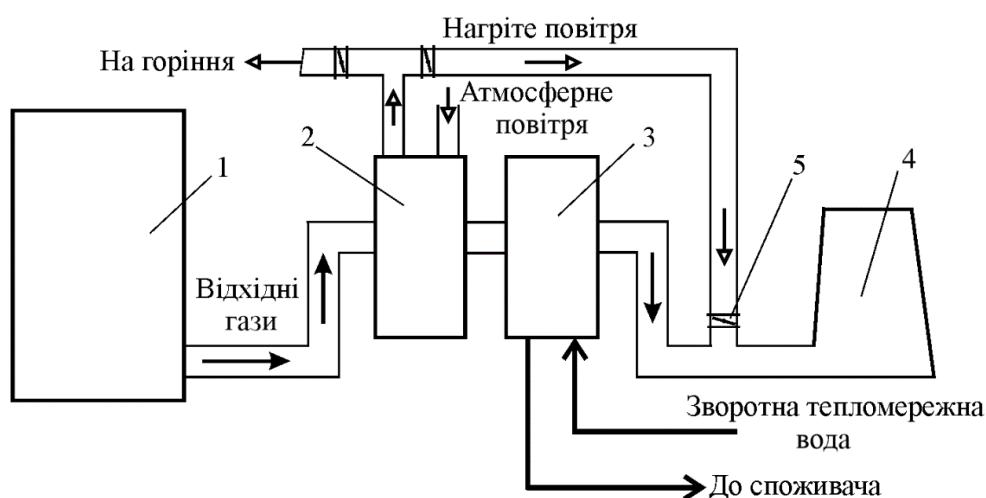


Рис. 1. Застосування методу підмішування нагрітого повітря у димові гази для запобігання конденсації в газовідвідному тракті сміттєспалювального котла з комбінованою системою теплоутилізації:

1 – котел; 2 – повітрянагрівач; 3- водопідігрівач; 4 – димова труба; 5 – регулювальний клапан

При використанні розглянутого методу повинна дотримуватись необхідна умова відвернення конденсації в газовідвідному тракті, а саме перевищення температури внутрішньої поверхні над температурою точки роси димових газів ($t_{\text{пов}} \geq t_p$). Ця умова забезпечується як завдяки підвищенню $t_{\text{пов}}$, що досягається збільшенням температури суміші димових газів у разі додавання нагрітого повітря, так і завдяки зменшенню точки роси t_p при підмішуванні повітря з низькою вологістю ($< 0,01$ кг/кг с.п.). Оскільки гирло димової труби є найуразливішою ділянкою для конденсації, основним завданням досліджень є визначення тепловологісних показників ($t_{\text{пов}}$ та t_p) саме в гирлі труби.

При виконанні досліджень розглядалася залізобетонна димова труба висотою 120 м, внутрішнім діаметром 1,8 м, товщиною оболонки 0,16 м без теплоізоляції корпусу труби та за її наявності. Розглядалися також режими роботи котла, які відповідали системі опалення з розрахунковою температурою доквілля $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та перепадом температур теплоносія $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В табл. 1 наведено розрахункові значення температур підмішуваного повітря, нагрітого в повітрянагрівачі розглянутої теплоутилізаційної системи, в залежності від режиму роботи котла.

Таблиця 1

Температура повітря для підмішування у вихідні газы

Вологовміст відхідних газів котла $X_{\text{вх}}^{\text{г}}$, г/кг с.г.	Температура нагрітого повітря $t_{\text{вих}}^{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$ за різних значення температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$, $^{\circ}\text{C}$ та за різних температур димових газів після котла $t_{\text{вх}}^{\text{г}}$, $^{\circ}\text{C}$			
	-20	-10	0	10
$t_{\text{вх}}^{\text{г}} = 250$				
250	171,6	178,4	186,4	196,5
200	172,3	178,9	186,9	196,9
150	171,6	178,9	186,9	196,9
$t_{\text{вх}}^{\text{г}} = 200$				
250	137,6	143,7	150,5	159,0
200	137,4	143,4	150,3	158,8
150	137,4	143,4	150,3	158,8

Результати досліджень. Розрахункові тепловологісні показники ($t_{\text{пов}}$ та $t_{\text{р}}$) в гирлі неізольованої димової труби у разі застосування повітряного методу подано на рис. 2. Аналіз результатів свідчить, що використання одиночного повітряного методу за часток підмішування σ до 30 % реалізується лише в режимах роботи котла, близьких до номінальних, які відповідають низьким температурам навколишнього середовища.

Щодо витрат теплоти $\gamma_{\text{підм}}$ на реалізацію методу, то виконані розрахунки свідчать, що максимальне значення $\gamma_{\text{підм}}$ не перевищує 9 %

утилізованої теплоти і відповідає режимам найменших навантажень котла (при $t_{\text{НС}} = +10 \text{ }^\circ\text{C}$) і високим температурам димових газів на вході в теплоутилізаційну систему ($t_{\text{ВХ}}^{\text{Г}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$). За результатами зіставлення значень $\gamma_{\text{ПІДМ}}$ з іншими методами тепловологісної обробки димових газів після теплоутилізації (методу байпасування газів та підсушування у газопідігрівачі) [6, 7] повітряний метод характеризується у 2-5 разів меншими витратами теплоти на його реалізацію.

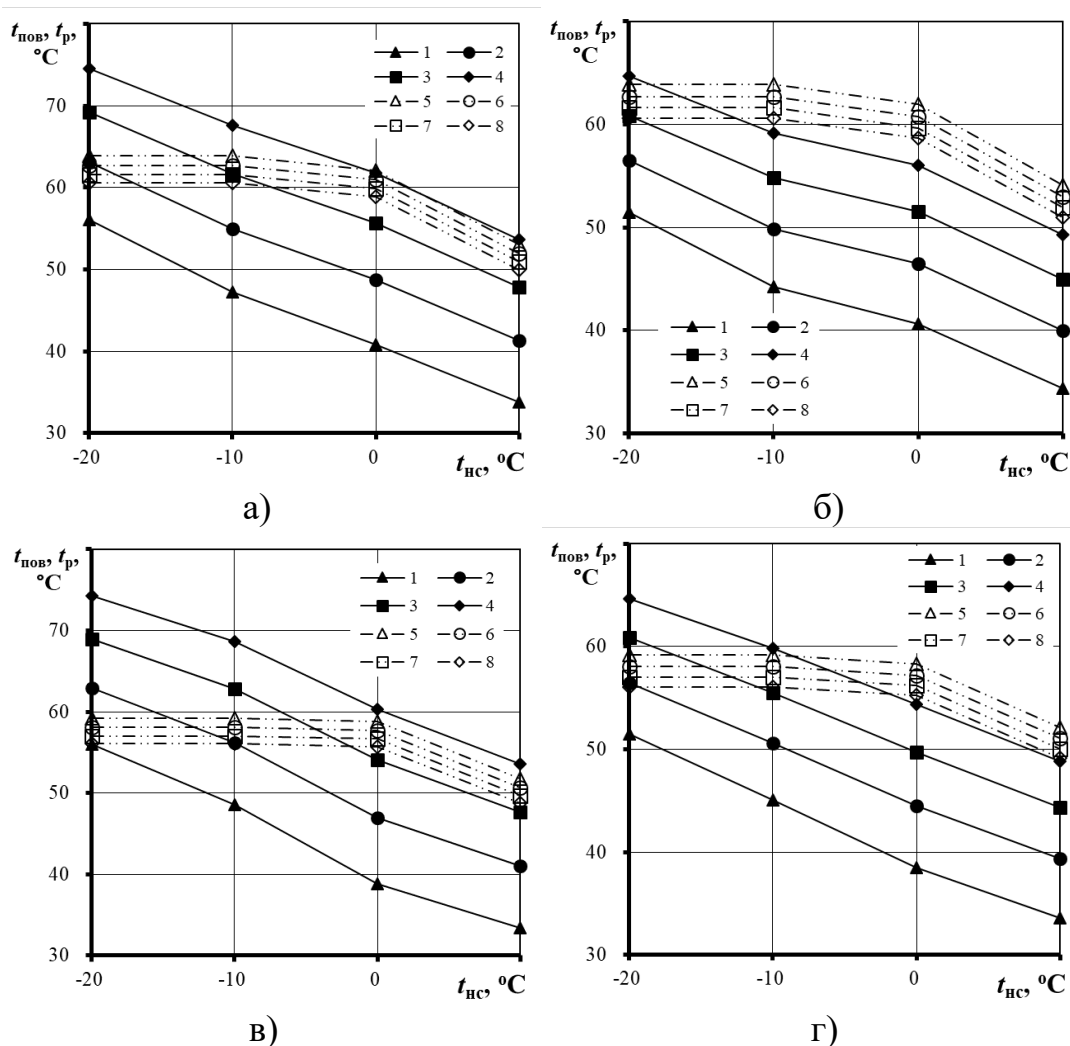


Рис. 2 Залежність від температури навколишнього середовища $t_{\text{НС}}$ температури внутрішньої поверхні $t_{\text{ПОВ}}$ в гирлі димової труби (1-4) і точки роси $t_{\text{Р}}$ за різних температур $t_{\text{ВХ}}^{\text{Г}}$, їхнього вологовмісту $X_{\text{ВХ}}$ після котла та частки підмішаного повітря σ :

- а) $t_{\text{ВХ}}^{\text{Г}} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$, $X_{\text{ВХ}} = 200 \text{ г/кг с.г.}$; б) $t_{\text{ВХ}}^{\text{Г}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, $X_{\text{ВХ}} = 200 \text{ г/кг с.г.}$;
 в) $t_{\text{ВХ}}^{\text{Г}} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$, $X_{\text{ВХ}} = 150 \text{ г/кг с.г.}$; г) $t_{\text{ВХ}}^{\text{Г}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, $X_{\text{ВХ}} = 150 \text{ г/кг с.г.}$;
 1,5 – $\sigma = 0\%$; 2,6 – 10% ; 3,7 – 20% ; 4,8 – 30% .

Для покращення тепловологісних режимів димових труб запропоновано сумісне використання повітряного методу з теплоізоляцією труби (рис.4). Теплоізоляційним матеріалом слугував ефективний утеплювач: полотно з мінеральної вати з базальтового волокна ($\lambda = 0,038$ Вт/(м·°C); $\delta = 50$ мм) ТУ 5284-048-00110473-2001.

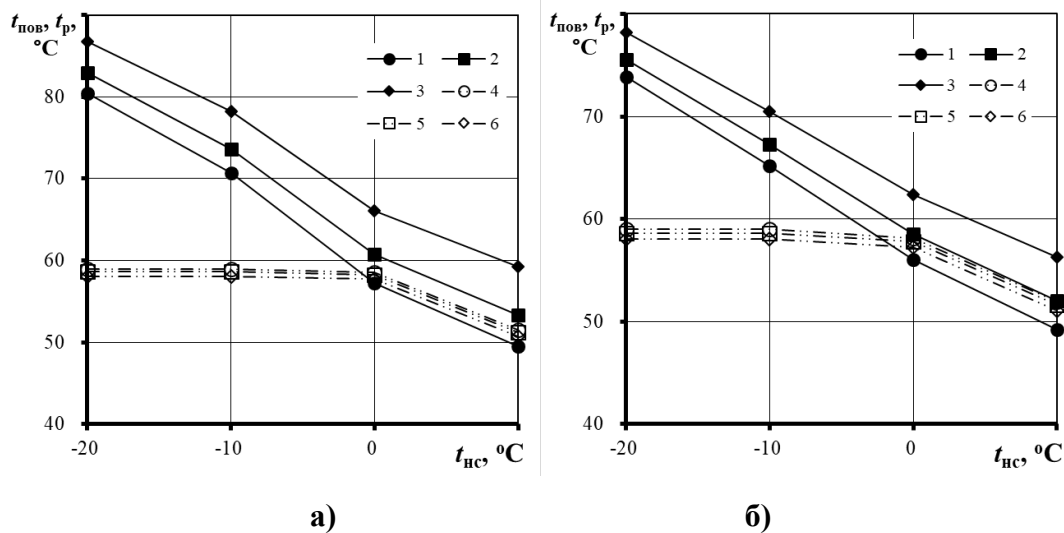


Рис. 3. Залежність від температури навколишнього середовища $t_{нс}$ температури внутрішньої поверхні $t_{пов}$ в гирлі димової труби (1-4) і точки роси $t_{р}$ (5-8) за різних температур димових газів на вході $t_{вх}$ та часток підмішуваного повітря σ при початковому вологовмісті димових газів 150 г/кг с.г.:

**а) $t_{вх} = 250$ °C; б) $t_{вх} = 200$ °C;
1, 4 – $\sigma = 2\%$; 2, 5 – 5% ; 3, 6 – 10%**

Висновок. За результатами досліджень при використанні повітряного методу для запобігання конденсатуутворенню у гирлі залізобетонної димової труби у всіх режимах сміттєспалювального котла достатньо використання одного шару вибраної теплоізоляції. При цьому частка підмішуваного повітря і коефіцієнт витрат теплоти на реалізацію методу не перевищують 1 %.

Література

1. Корсун В. И. О предупреждении аварийных ситуаций на промышленных дымовых и вентиляционных трубах. *Будівельні конструкції*. 2014. № 81. С. 244–253.

2. Яровий С. М. Типологія дефектів та пошкоджень металевих димових і вентиляційних труб, статистичний аналіз пошкоджуваності. *Науковий вісник будівництва*. 2020. № 99.1. С. 213–221.

3. Fialko, N. M., Navrodska, R. A., Shevchuk, S. I., Stepanova, A. I., Presich, G. A., & Gnedash, G. A. (2018). Thermal methods of protection of gas exhaust ducts of boiler plants. K.: Printing house" Pro format.

4. Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O., Sbrodova G. O. Applying the air methods to prevent condensation in gas exhaust ducts of the boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. 28(10). P. 76-80. <https://doi.org/10.15421/40281016>.

5. Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., Gnedash H.O. The environmental reliability of gas-fired boiler units by applying modern heat-recovery technologies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 2. P.117-121. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/096>

6. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Жученко І. М., Гнедаш Г. О. Ефективність застосування методу байпасування для антикорозійного захисту газовідвідних трактів сміттєспалювального котла. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2025. № 2. P. 107-111. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-2-10728>.

7. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Жученко І. М., Гнедаш Г. О. Запобігання конденсації в димовій трубі сміттєспалювального котла при застосуванні теплоутилізаційних технологій. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2025. № 3. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-3-10835>.