

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 of the 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*

Zhuchemko Ivan

Postgraduate of the

Vinnitsia 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

**ЗАПОБІГАННЯ КОНДЕНСАТОУТВОРЕННЮ В ДИМОВІЙ ТРУБІ
СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНОГО КОТЛА ПРИ ЗАСТОСУВАННІ
ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
PREVENTION OF CONDENSATION IN THE CHIMNEY OF A WASTE
INCINERATOR BOILER WHEN USING HEAT RECOVERY
TECHNOLOGIES**

Анотація. Досліджено ефективність застосування двох теплових методів запобігання конденсатоутворенню в димовій трубі сміттєспалювального котла з системою теплоутилізації димових газів. Розглядалися: метод зменшення теплових втрат з корпусу труби шляхом її теплоізоляції та метод підсушування охолоджених газів у газопідігрівачі. Показано, що запобігання конденсатоутворенню в усіх режимах котла реалізується лише за сумісного застосування методів.

Ключові слова: глибоке охолодження димових газів, димові труби, теплові методи, запобігання конденсатоутворенню.

Summary. The effectiveness of using two thermal methods to prevent condensation in the chimney of a waste incinerator boiler with exhaust gas heat

recovery system is investigated. The following were considered: a method for reducing heat losses from the chimney hull by insulating it and a method for drying cooled gases in a gas-heater. It is shown that prevention of condensate formation in all boiler modes is realized only with the combined use of methods.

Key words: *deep cooling of exhaust gases, chimneys, thermal methods, prevention of condensation.*

За умов експлуатації сміттєспалювальних установок з системами теплоутилізації димових газів відбувається відхилення від проектних тепловологісних режимів димових труб, яке призводить до випадення конденсату на внутрішній поверхні цих труб. Для поліпшення умов експлуатації вказаних димарів можуть використовуватися різні теплові методи [1-6]. В роботі [1] наведено результати дослідження ефективності застосування для запобігання конденсатоутворенню в залізобетонній димовій трубі сміттєспалювального котла з системою теплоутилізації димових газів теплового методу на основі часткового пропускання частини газів від котла повз вказану систему. У ситуації, що розглядалася, цей метод не забезпечує запобігання конденсатоутворенню в гирлі димової труби без теплоізоляції її корпусу.

Метою цієї роботи є дослідження ефективності використання для запобігання конденсатоутворенню в димовій трубі сміттєспалювального котла з комбінованою системою теплоутилізації методу підігрівання охолоджених в теплоутилізаторі димових газів у теплообміннику, встановленому за теплоутилізаторами застосованої системи теплоутилізації. Використання газопідігрівача слугує для збільшення температури газів на виході з теплоутилізаційної системи $t_{\text{гв}}$ до рівня, що забезпечує таке підвищення температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в гирлі димової труби, яке відповідає перевищенню температури точки роси t_p вихідних димових газів при сталому значенні їх абсолютної вологості. На

рис. 1 наведено принципову схему сміттєспалювального котла із застосуванням вказаного теплового методу. За наведеною схемою тепловологісна обробка димових газів після теплоутилізаторів системи здійснюється шляхом їх підігрівання у теплообміннику-газопідігрівачі до $0 \div 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ прямою водою котла.

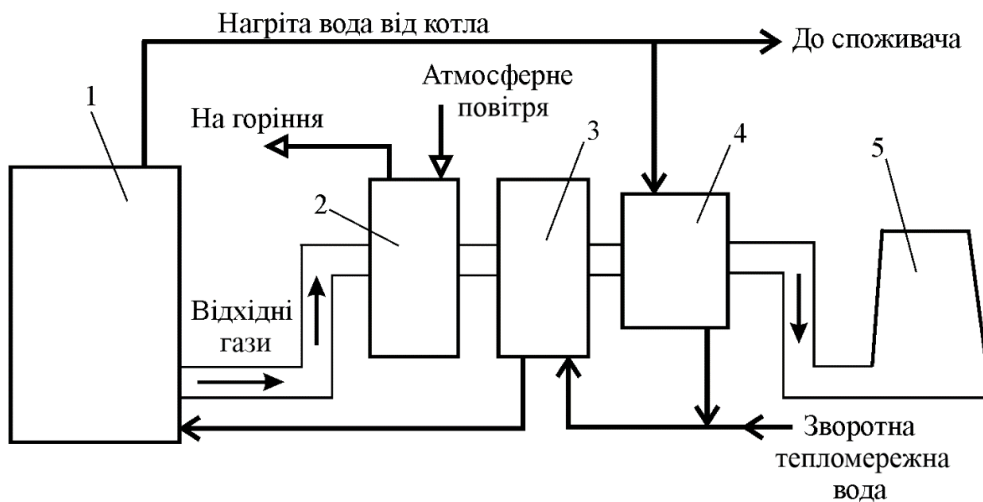


Рис. 1. Застосування методу підігрівання охолоджених димових газів у газопідігрівачі для запобігання конденсоутворенню в газовідвідному тракті сміттєспалювального котла: 1 – котел; 2 – повітрянагрівач; 3 – водопідігрівач; 4 – газопідігрівач; 5 – димова труба

Результати розрахункових досліджень щодо ефективності застосування досліджуваного методу наведено на рис. 2 та 3. Досліджувались тепловологісні показники (температура поверхні $t_{\text{пов}}$ та точка роси t_p) в гирлі залізобетонної димової труби висотою 120 м, внутрішнім діаметром 1,8 м і товщиною оболонки 0,16 м). Аналіз результатів свідчить, що метод підігрівання є більш результативним, ніж метод байпасування [1]. Проте, за результатами досліджень не в усіх режимах роботи котла реалізується перевищення температури поверхні $t_{\text{пов}}$ над температурою точки роси t_p . Перевищення місце лише за великих навантажень котла, що відповідають низьким температурам навколишнього середовища ($t_{\text{nc}} < 0^{\circ}\text{C}$), меншому вологовмісту і високим температурам газів за котлом ($t_{\text{вх}}^{\text{r}} > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) та рівнів підігрівання

охолоджених газів у газопідігрівачі Δt , що здебільшого перевищують $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. При $\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ нормативний режим експлуатації труби може реалізуватись лише в режимах котла, близьких до номінальних.

Виконано також оцінку витрат теплоти на застосування розглянутого методу. За результатами досліджень, ці витрати сягають 25 % можливого обсягу утилізованої теплоти. І це значення тим менше, чим менший рівень Δt підігрівання газів, вищі температура $t_{\text{вх}}^{\text{г}}$ газів та вологовміст $X_{\text{вх}}$ за котлом і вища температура навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$.

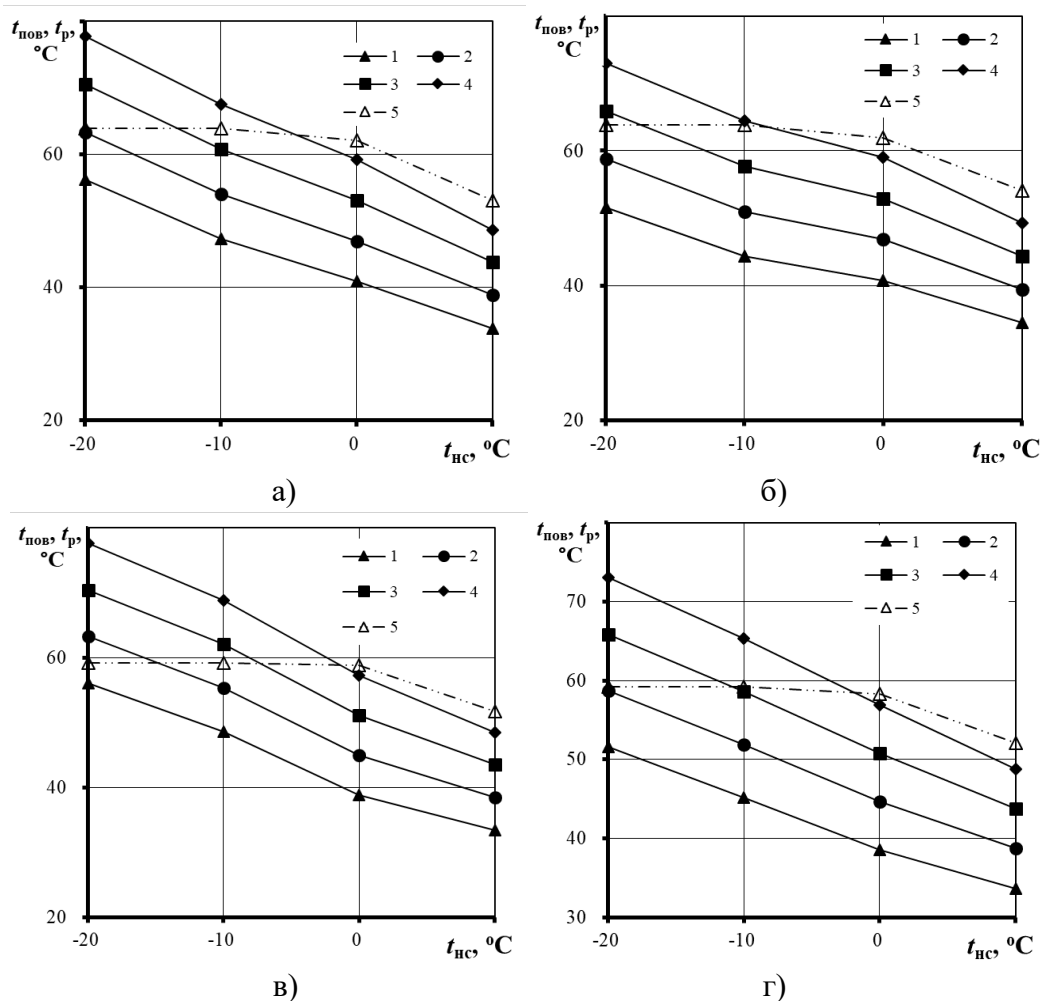


Рис. 2. Залежність від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в гирлі димової труби (1-4) і точки роси t_p (5) за різних температур димових газів $t_{\text{вх}}^{\text{г}}$ та вологовмісту $X_{\text{вх}}$ після котла та величини

підігрівання охолоджених газів Δt :

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 – $\Delta t = 0^{\circ}\text{C}$; 2 – 10°C ; 3 – 20°C ; 4 – 30°C

Для покращення тепловологісного стану в димовій трубі досліджено сумісне застосування методу підсушування з теплоізоляцією корпусу труби (рис. 3). Теплоізоляція здійснювалась в один шар матеріалом: 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.

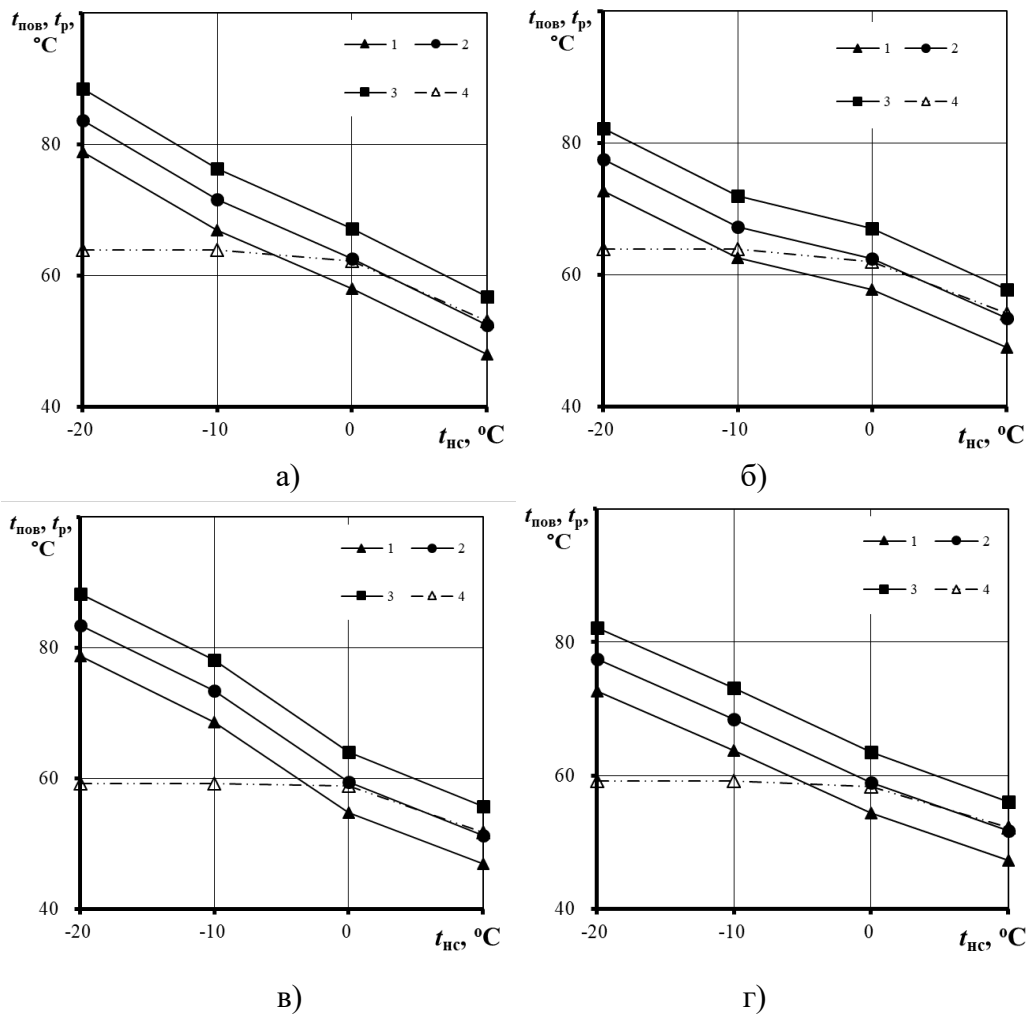


Рис. 3. Залежність від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в гирлі теплоізольованої димової труби (1-3) і точки роси $t_{\text{р}}$ (4) за різних температур димових газів $t_{\text{вх}}$, їхнього вологовмісту $X_{\text{вх}}$ після котла та величини підігрівання охолоджених газів Δt :

- а) $t_{\text{вх}} = 250$ °C, $X_{\text{вх}} = 200$ г/кг с.г; б) $t_{\text{вх}} = 200$ °C, $X_{\text{вх}} = 200$ г/кг с.г;
в) $t_{\text{вх}} = 250$ °C, $X_{\text{вх}} = 150$ г/кг с.г; г) $t_{\text{вх}} = 200$ °C, $X_{\text{вх}} = 150$ г/кг с.г;
1 – $\Delta t = 0$ °C; 2 – 5 °C; 3 – 10 °C**

Як видно з наведеного рисунку, вказане сумісне застосування забезпечує відвернення конденсатоутворення в гирлі димової труби у всіх режимах її експлуатації протягом опалювального періоду. При цьому

рівень підігрівання газів Δt не перевищує 10 °С, а максимальна витрата теплоти на реалізацію методу є меншою за 16 %.

Висновок. Узагальнюючи результати виконаних досліджень щодо ефективності застосування методу підігрівання вихідних газів у газопідігрівачі, можна стверджувати, що в розглянутих умовах цей метод забезпечує запобігання конденсації в залізобетонній димовій трубі сміттєспалювальної установки з опалювальним котлом в усіх режимах його експлуатації лише за умови теплоізоляції димової труби.

Література

1. 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 "Ітернаука"*. 2025. № 2. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-2-10728>.
2. Fialko, N.M., Navrodska, R.O., Shevchuk, S. I., Gnedash, G. O., & Sbrodova, G. O. (2018). Applying the air methods to prevent condensation in gas exhaust ducts of the boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(10), 76-80. <https://doi.org/10.15421/40281016>.
3. 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.
4. Fialko, N., Navrodska, R., Gnedash, G., Presich, G., & Shevchuk, S. (2021). Methods for protecting boiler chimneys against corrosion due to fall-out condensate from flue gases. *International scientific journal "Internauka"*, 9(109), 30-32. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7426>.

5. Fialko, N., Navrodska, R., Shevchuk, S., Presich, G., & Gnedash, G. (2019). The use of thermal methods to protect the exhaust-channels of boilers equipped with heat-recovery units. *International scientific journal "Internauka"*, 11(73), 14-16. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11>.

6. 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".