

Технічні науки

УДК [621.181:662.613]:66.047.004.1

**Фіалко Наталія Михайлівна**

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

**Fialko Nataliia**

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

**Пресіч Георгій Олександрович**

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

**Presich Georgii**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Senior Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Гнедаш Георгій Олександрович**

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

**Gnedash Georgii**

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior 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*

**Новаківський Максим Олександрович**

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

**Novakivskii Maksym**

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

**Глушак Оксана Юріївна**

*головний технолог  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Glushak Oksana**

*Chief technologist  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ТЕХНОЛОГІЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ  
КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК  
TECHNOLOGY OF THERMAL PROTECTION OF GAS EXHAUST  
TRACTS OF BOILER INSTALLATIONS**

***Анотація.** Запропоновано ефективне технологічне рішення теплового захисту газовідвідного тракту та димової труби газоспоживальних котелень від можливого конденсаутворення. Принцип технології полягає у поєднанні двоступінчатого глибокого охолодження димових газів з наступним підвищенням їхньої температури у газо-газовому підігрівачі.*

**Ключові слова:** відхідні димові гази, температура точки роси, конденсаціютворення, тепловологісний режим, газопідігрівач.

**Summary.** *An effective technological solution for thermal protection of the gas-exhaust tract and chimney of gas-fired boiler units against possible condensation is proposed. The principle of the technology is a combination of two-stage deep cooling of exhaust-gases followed by an increase in their temperature in a gas-gas heater.*

**Key words:** *exhaust-gases, dew point temperature, condensation formation, thermal-humidity regime, gas-heater.*

Умови, що спричиняють конденсацію вологи в газовідвідному тракті, зокрема в димовій трубі, можуть виникати як в традиційних котельних установках внаслідок відхилення режиму роботи від розрахункового при зменшенні навантаження, так і в удосконалених котельних установках – з глибоким охолодженням димових газів в теплоутилізаторах [1-8].

Дослідження існуючих методів теплового захисту газовідвідних трактів [9-12] показали, що ці методи узагальнюються двома: підмішування до газового потоку газоподібного теплоносія (димових газів або повітря) та підігрівання газів у поверхневому теплообміннику. Застосовуються також комбінації вищевказаних основних способів. Слід відзначити, що перший спосіб є ефективним, коли для підмішування використовується гаряче повітря. В цьому випадку суміщуються зниження температури точки роси за рахунок розводження вологих димових газів сухим повітрям (вологівміст суміші зменшується) та підвищення температури газів. Цей спосіб може застосовуватися в котельнях великої енергетики, які оснащуються повітропідігрівачами. Однак, в опалювальних і опалювально-виробничих котельнях, не оснащених повітропідігрівачами,

підігрівання газів, як правило, реалізується за рахунок гарячої води у поверхневих теплообмінниках, що знижує загальну теплову ефективність теплоутилізаційних заходів.

Принцип пропонованої технології теплового захисту газовідвідних трактів котельних установок полягає у сполученні примусового глибокого охолодження димових газів холодним дуттьовим повітрям, з наступним підвищенням їхньої температури у газо-газовому підігрівачі. Таким чином засобом теплового захисту газовідвідного тракту є відповідна теплотехнічна система, завдяки функціонуванню елементів якої здійснюється реалізація технології.

Основними елементами системи є газоохолоджувач поверхневого або контактного типу та газопідігрівач поверхневого типу. Газоохолоджувач розміщується за ходом газів перед газопідігрівачем і охолоджує гази до температури нижче температури точки роси, яка відповідає газам, що в нього входять. Крім вказаних теплообмінників, до складу системи можуть входити інші тепломасообмінні апарати, трубопроводи з арматурою, газоходи і повітроводи з клапанами, засоби для переміщення теплоносіїв (вентилятори, димососи), змішувачі, нейтралізатори конденсату [13-17] та ін.

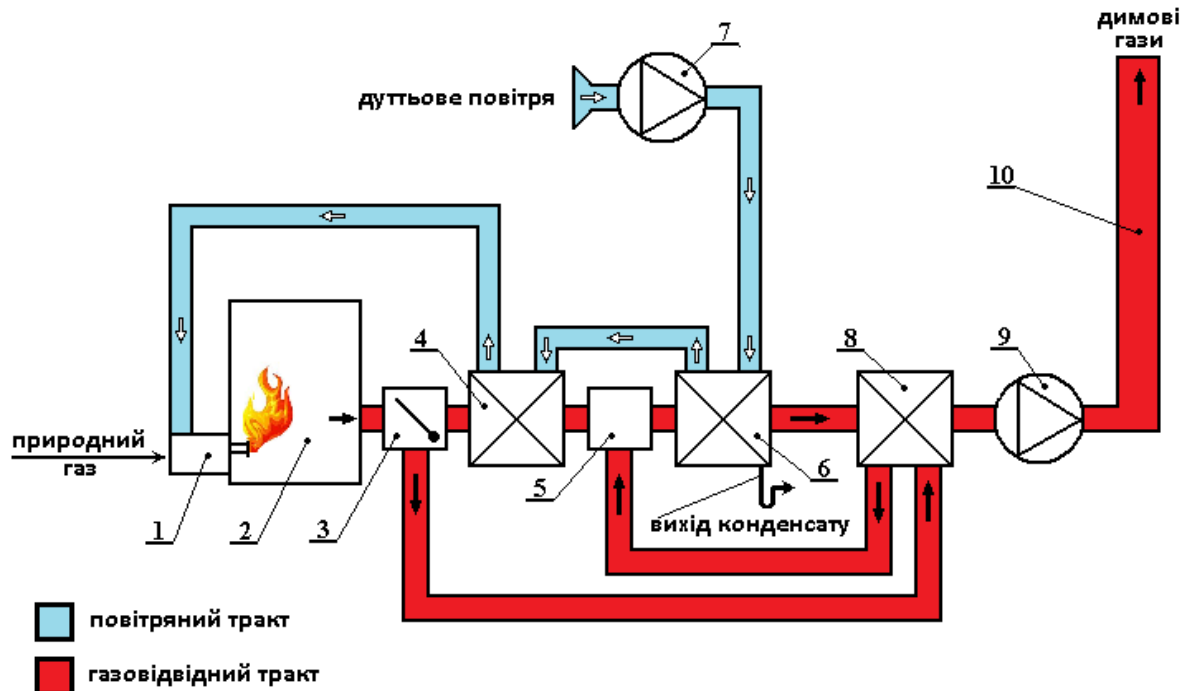
Технологією передбачається щонайменш двоступінчасте глибоке охолодження відхідних газів котлоагрегата до температури нижче первинної точки роси водяної пари на 25...30 °С і наступне підігрівання газів в поверхневому теплообміннику (газопідігрівачі) до температури, при якій буде забезпечуватися відсутність конденсатоутворення в газовідвідному тракті включно до виходу з димової труби. Мінімальна температура підігрівання газів визначається розрахунком і залежить від характеристики газовідвідного тракту (зокрема димової труби), зовнішніх чинників і загалом від інтенсивності охолодження газів в тракті після газопідігрівача.

Глибоке охолодження газів перед газопідігрівачем супроводжується відповідним виділенням і відведенням конденсату із газового потоку, в результаті чого суттєво зменшується вологовміст газів і температура вторинної точки роси водяної пари. Як охолоджуючий теплоносій використовується холодне дуттьове повітря.

Існує сприятлива залежність між температурою зовнішнього повітря і необхідним зменшенням вологовмісту газів перед газопідігрівачем. При зниженні температури зовнішнього повітря (зокрема в зимовий період) збільшується охолодження газів та зменшується їхній вологовміст перед газопідігрівачем. При підвищенні температури зовнішнього повітря (зокрема в літній період) природньо зменшується охолодження газів і одночасно зменшується вірогідність конденсатоутворення в газовідвідному тракту після газопідігрівача, отже зменшується необхідність глибокого охолодження газів.

Принципова схема пропонованої технології системи теплового захисту газовідвідного тракту котельної установки наведено на рис. 1.

Система теплового захисту передбачає двоступінчасте охолодження газів дуттьовим повітрям за протитоковою схемою, тобто спочатку холодне дуттьове повітря надходить в другий ступінь охолодження, а потім в перший і далі в котлоагрегат. Підігрівання глибоко охолоджених газів в газопідігрівачі здійснюється за рахунок теплоти частини гарячих газів, що відбираються перед першим ступенем охолодження і після проходження газопідігрівача підмішуються до основного газового потоку перед другим ступенем охолодження.



**Рис. 1. Принципова схема теплового захисту газовідвідного тракту котельної установки:**

- 1 – пальниковий пристрій; 2 – котлоагрегат; 3 – розподільна камера;  
4 – перший газоохолоджувач; 5 – змішувальна камера; 6 – другий  
газоохолоджувач; 7 – дутьовий вентилятор; 8 – газопідігрівач;  
9 – димосос; 10 – димова труба**

Робота установки реалізується наступним чином.

Природний газ подається в паливник 1, де спалюється, а продукти згоряння, що утворюються в топці котлоагрегата 2, надходять в газовий тракт. Тут в розподільній камері 3 за допомогою заслінки потік газів розподіляється. Основна частина газів надходить у перший теплообмінник 4, де газ охолоджується. Інша частина газів надходить у газопідігрівач 8, де газ охолоджується. В змішувальній камері 5 газ, що пройшов перший теплообмінник 4, і газ, що пройшов газопідігрівач 8, збираються в загальний потік, який надходить в другий теплообмінник 6, де доохолоджується при збільшенні їхньої відносної вологості з випадінням конденсату, який через гідрозатвор відводиться з другого газоохолоджувача, а далі через нейтралізатор конденсату – з системи.

Доохолоджені гази проходять газопідігрівач 8, в якому вони підігріваються при зменшенні їхньої відносної вологості до температури, яка забезпечує відсутність конденсатоутворення в наступній частині газового тракту. Підігріті гази димососом 9 через димову трубу 10 видаляються з установки в навколишнє середовище.

Дуттьове повітря вентилятором 7 подається в другий теплообмінник 6, де нагрівається, далі поступає в перший теплообмінник 4, де догрівається, після чого надходить в газопальниковий пристрій.

З допомогою заслінки розподільної камери 3 здійснюється перерозподілення потоків газів для підтримання відповідної температури газів у газовідвідному тракті.

Застосування запропонованої системи дозволяє знизити температуру газів перед газопідігрівачем з відповідним зменшенням їхнього вологовмісту завдяки виділенню і відведенню значної кількості води, що сконденсувалася. При цьому за рахунок збільшення використання теплоти газів збільшується ККД установки, а за рахунок зниження температури точки роси газів внаслідок додаткового виділення конденсату з газів зменшується втрата теплоти на підігрівання газів в газопідігрівачі, тобто втрата на власні потреби установки, внаслідок чого також збільшується її ККД.

### **Література**

1. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S., Sbrodova, G. Improvement of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler units. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2021. 9. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7427>
2. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O., Glushak O. Y. Reduction of moisture content of exhaust gases in condensing heat-

- recovery exchangers of the boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. 29(8). P. 116-119. doi: <https://doi.org/10.36930/40290821>
3. Fialko N. M., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I., Dashkovska I. L. Increase the efficiency of complex heatrecovery systems for heating and humidifying of blown air of gasfired boilers. *Industrial Heat Engineering*, 2018. 40(3). P. 38–45. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>
  4. Fialko N. M., Gnedash G. O., Navrodska R. O., Presich G. O., Shevchuk S. I. Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. 29(6). P. 79-82. doi: <https://doi.org/10.15421/40290616>
  5. Navrodska R. A., Stepanova A. I., Shevchuk S. I., Gnedash G. A., Presich G. A. Experimental investigation of heat-transfer at deep cooling of combustion materials of gas-fired boilers. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. 28(6). P. 103-108. doi: <https://doi.org/10.15421/40280620>
  6. Fialko N. M., Navrodska R. O., Gnedash G. O., Presich G. O., Shevchuk S. I. Study of Heat Recovery Systems for Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units. *Nauka innov*. 2020. V. 16, no. 2. P. 47-53. doi: <https://doi.org/10.15407/scin16.03.047>
  7. Fialko N., Presich G., Navrodska R., Gnedash G. Ekolohichna efektyvnist kombinovanykh system utylizatsiyi teploty vykydnykh haziv kotelnoyi ustanovky [Ecological efficiency of combined heat recovery systems waste of exhaust gases for boiler plant]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhniky. Teoriya i praktyka budivnytstva*. 2013. 755. P. 429-434. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/22345>
  8. Navrodska, R., Fialko, N., Presich, G., Gnedash, G., Alioshko, S., & Shevcuk, S. Reducing nitrogen oxide emissions in boilers at moistening of blowing air in heat recovery systems. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 100, p. 00055). EDP Sciences. 2019. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000055>



9. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Presich G., Gnedash G. The use of thermal methods to protect the exhaust-channels of boilers equipped with heat-recovery units. *International scientific journal "Internauka"*. 2019. 11(73).
10. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I. Application of an air method for protecting chimneys of boiler plants in heat recovery systems. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2020. 4(84). P. 84-87. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-4>
11. 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. doi: <https://doi.org/10.15421/40281016>
12. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Presich G., Shevchuk S. Methods for protecting boiler chimneys against corrosion due to fall-out condensate from flue gases. *International scientific journal "Internauka"*. 2021. 9(109). P. 30-32. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7426>
13. Fialko N. M., Navrodska R. O., Gnedash G. O., Novakivskii M. O., Presich G. O. Directions for the use of chemically aggressive water condensate in gas-fired boiler plants of municipal energy. *International scientific journal "Internauka"*. 2022. №3. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-3-7948>
14. Fialko N. M., Navrodska R. O., Gnedash G. O., Shevchuk S. I., Presich G. O. Neutralization of acidic water condensate of gas-fired boiler units by decarbonization method into the granular type filter. *International scientific journal "Internauka"*. 2022. №4. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-4-7971>
15. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Novakivskii M., Sbrodova, G. Use and disposal of acidic water condensate from gas-fired boiler units.

*Municipal Economy of Cities*. 2021. 4(164). P. 24-30. doi:  
<https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-24-30>

16. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Novakivskii M. Practical application of chemically aggressive water condensate in gas-fired boiler plants of municipal power. In *The 11 th International scientific and practical conference “International scientific innovations in human life” (May 11-13, 2022)*. Cognum Publishing House, Manchester, United Kingdom. 2022. 810 p. (p. 188).
17. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Presich G. Decarbonization of acid water condensate of gas-fired boiler plants by filtration method. In *The 10 th International scientific and practical conference “Science, innovations and education: problems and prospects” (May 4-6, 2022)*. CPN Publishing Group, Tokyo, Japan. 2022. 624 p. (p. 130).