

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

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*

Навродська Раїса Олександрівна

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

Navrodska Raisa

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
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*

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*

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ДИМОВИХ
ГАЗІВ ДЛЯ КОТЛІВ МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ
PECULIARITYS OF THE USE OF FLUE GAS RECIRCULATION FOR
BOILERS OF SMALL AND MEDIUM CAPACITY**

***Анотація.** Описано проблеми застосування способу рециркуляції димових газів у суміші із дуттьовим повітрям для котлів невеликої потужності, які не оснащені повітронідогрівачами. Виконано аналіз тепловологісного стану газоповітряної суміші в різних режимах водогрійного опалювального котла теплопродуктивністю 2 МВт. Визначено причини обмеження застосування даного способу та вказано шляхи вирішення проблем.*

***Ключові слова:** газоспоживальні котельні установки, системи рециркуляції димових газів, тепловологісний режим.*

***Summary.** The problems of using the method of flue gas recirculation into the combustion air for small-capacity boilers that are not equipped with air-heaters are described. An analysis of the thermal-humidity state of the gas-air*

mixture in different modes of a water-heating boiler with a heat output of 2 MW was carried out. The reasons for limiting the application of this method are determined and ways to solve problems are indicated.

Key words: *gas-fired boiler plants, flue gas recirculation systems, thermal-humidity regime.*

Вступ. На сьогодні забруднення довкілля набуває глобального характеру [1–9]. Одним із джерел цього забруднення є паливоспоживальні енергетичні об’єкти, експлуатація яких дуже впливає на екологічну безпеку навколишнього середовища [1; 2].

Напрями покращення цієї безпеки при експлуатації паливоспоживальних котельних установок пов’язані зі зниженням викидів оксидів азоту з димовими газами. Оксиди азоту визначають на 95÷98 % токсичність продуктів спалювання котлів електростанцій на природному газі і на 40÷50 % котлів на вугіллі та мазуті [3]. Тому зниження цих викидів в атмосферу дозволяє суттєво знизити забрудненість навколишнього середовища.

Серед шляхів зниження емісії оксидів азоту є застосування способів пригнічення їх утворення шляхом зменшення температури горіння в топці котла [1–10]. Серед цих способів широкого застосування набуло введення відхідних димових газів рециркуляції в топку котла, а найбільше поширення отримало введення димових газів рециркуляції в суміші з дуттьовим повітрям [1–3; 9; 10].

Даний спосіб є досить апробованим на котлах великої потужності, які зазвичай обладнані повітропідігрівачами. Використання способу рециркуляції димових газів у суміші з дуттьовим повітрям для котлів малої та середньої потужності пов’язане з певними проблемами щодо забезпечення роботоздатності котельної установки в деяких режимах. А саме: при змішуванні охолоджених димових газів з дуттьовим повітрям

відбувається підвищення вологовмісту повітрягазової суміші, що при низьких температурах атмосферного повітря може призводити до конденсації та навіть обмерзання у підвідних до котла повітроводах та у дуттьовому вентиляторі. Тому дана робота, яка присвячена дослідженню тепловологісного стану газоповітряної суміші при застосуванні рециркуляції димових газів у дуттьове повітря, є актуальною.

Мета роботи полягає у визначенні тепловологісних показників газоповітряної суміші (дуттьового повітря та рециркульованих газів) при різних режимах роботи опалювального котла та частках рециркульованих газів.

Методика проведення досліджень. Використовувалися відомі методи теплового розрахунку котельних установок, зокрема нормативний метод [11].

Результати досліджень. Розрахункові дослідження виконувались з використанням газоспоживального опалювального котла КСВа – 2,0Г номінальною теплопродуктивністю 2 МВт. Вихідні дані досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані

Найменування параметру	Значення
Потужність котла, %	30 ÷ 100
Витрата природного газу, м ³ /год	70 ÷ 200
Витрата димових газів, кг/с	0,3 ÷ 0,9
Коефіцієнт надлишку повітря	1,1
Вологовміст газів на виході з котла, кг /кг с.г.	0,120
Витрата води через котел, кг/с	19
Температура навколишнього середовища, °С	-30 ÷ +10
Розрахункова температура повітря для системи опалення, °С	-20
Розрахунковий перепад температур для системи опалення Δt_o , °С	25

Визначалися температура та точка роси повітрягазової суміші (дуттьового повітря та газів рециркуляції) в різних режимах котла

протягом опалювального періоду (в залежності від температури навколишнього середовища) при обсягах рециркульованих газів χ від 10 до 20%. Для розрахунку вказаних тепловологісних показників виконувався тепловий розрахунок котла з визначенням температур відхідних димових газів при вказаних значеннях χ .

На рис. 1 зображено принципову схему котельної установки з системою введення у газопальниковий пристрій димових газів рециркуляції у суміші з дуттьовим повітрям.

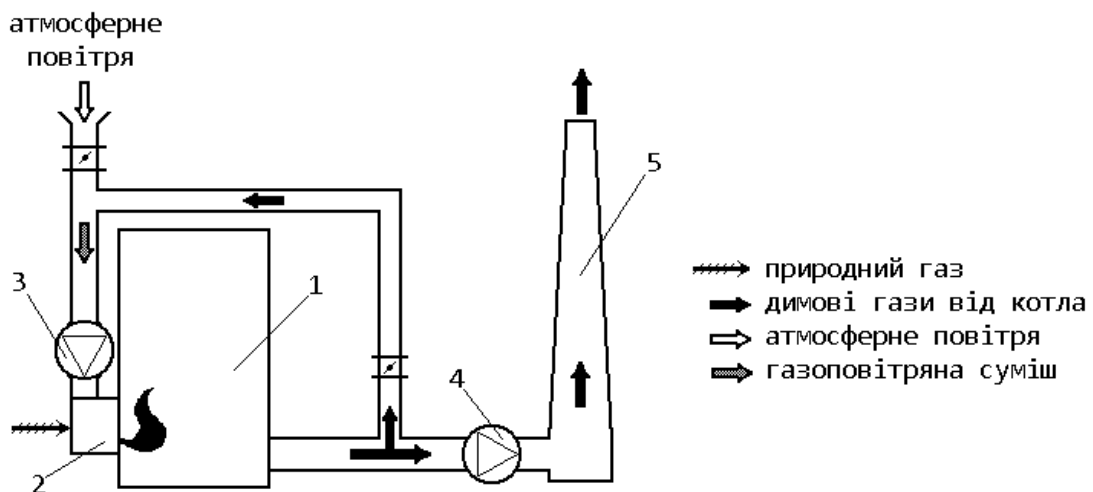


Рис. 1. Принципова схема котельної установки з системою рециркуляції димових газів: 1 – котел; 2 – газопальниковий пристрій; 3 – дуттьовий вентилятор; 4 – димосос; 5 – димова труба

Рисунок 2 ілюструє результати досліджень щодо залежності від відносного теплового навантаження Q_k котла температури його відхідних димових газів $t_{\text{відх}}^{\Gamma}$ при різних частках χ рециркульованих газів.

Отримані результати засвідчили що температура $t_{\text{відх}}^{\Gamma}$ відхідних димових газів котла знижується при застосуванні систем рециркуляції димових газів, і тим більше, чим вища частка χ підмішуваних до дуттьового повітря димових газів. Значення температури $t_{\text{відх}}^{\Gamma}$ використані при визначенні тепловологісних показників (температури $t_{\text{сум}}$ та точки роси $t_{\text{сумр}}^{\text{сум}}$) повітрягазової суміші. Відповідні дані наведено на рис.3.

Як видно з отриманих результатів, без застосування систем рециркуляції температура дуттьового повітря вища за його температуру точки роси в усіх режимах котла завдяки зазвичай низькій вологості повітря.

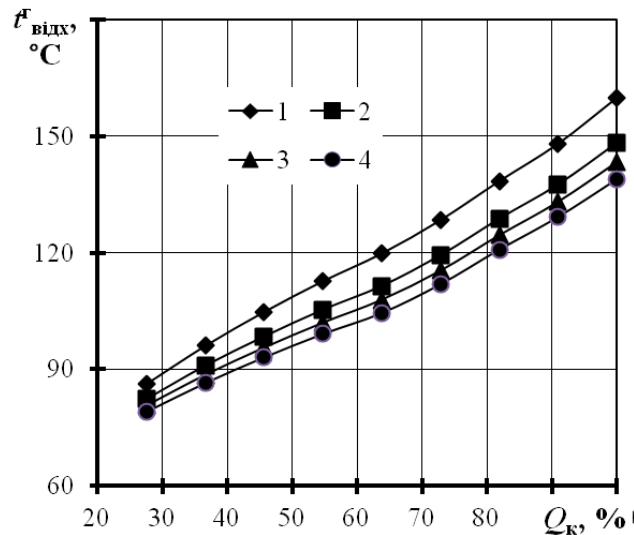


Рис. 2. Залежність від відносного навантаження котла Q_k температури його відхідних димових газів $t^f_{відх}$ при різних частках χ рециркуляції (РЦ) відхідних димових газів та без неї: 1 – без РЦ; 2 – χ – 10; 3 – 15; 4 – 20 %.

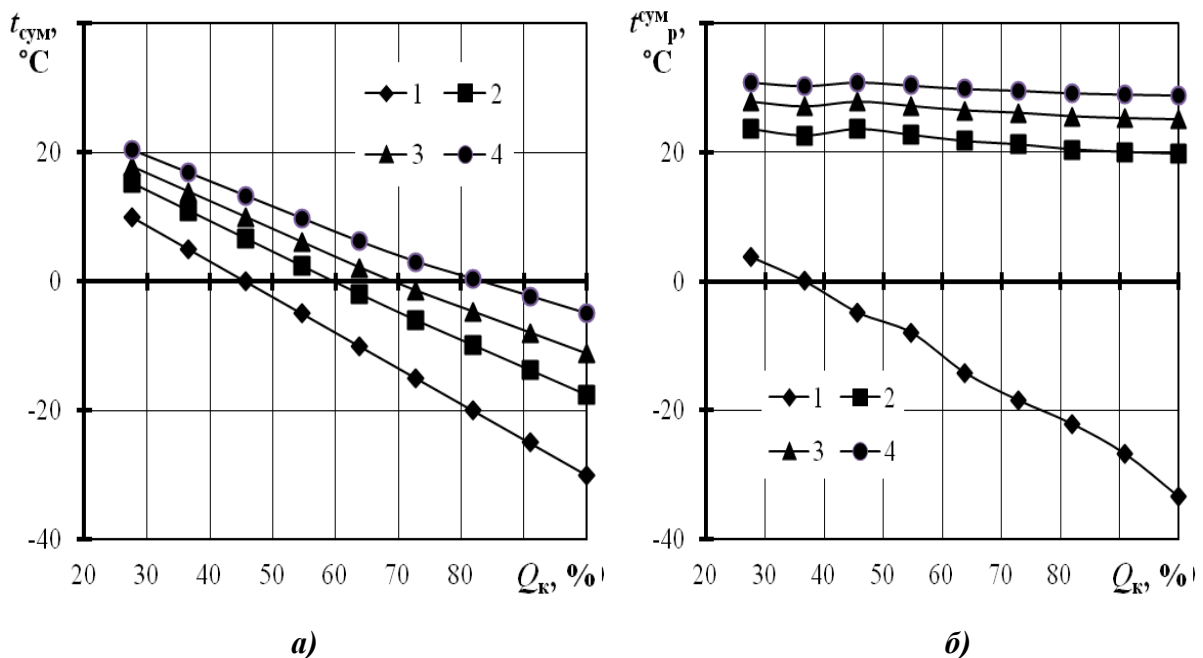


Рис. 3. Залежність від відносного навантаження котла Q_k температури $t_{сум}$ газоповітряної суміші та точки роси $t^{сум}_p$ при різних частках χ рециркуляції (РЦ) відхідних димових газів та без неї: 1 – без РЦ; 2 – χ – 10; 3 – 15; 4 – 20 %

При застосуванні системи рециркуляції вологовміст повітрягазової суміші підвищується через відносно високе значення вологовмісту відхідних димових газів (табл.1) і точка роси $t^{сум}_p$ зростає та перевищує температуру суміші $t_{сум}$ в усіх режимах котла протягом опалювального періоду. І чим вище значення частки χ в цій суміші, тим помітніше зростання точки роси $t^{сум}_p$. Тобто, у повітропідвідних каналах може спостерігатись конденсатоутворення. А в деяких режимах роботи котла ($Q_k \geq 80$ %, що відповідає за температурним графіком температурам навколишнього середовища меншим за 0 °С) температура повітрягазової суміші $t_{сум}$ може набувати мінусових значень. А відповідно в цих режимах імовірно обмерзання повітропідвідних каналів, які розміщені зовні приміщення.

Отже, результати досліджень свідчать, що без застосування спеціальних заходів, що забезпечують перевищення температури повітрягазової суміші $t_{сум}$ над точкою роси $t^{сум}_p$, роботоздатність котельної установки не може бути забезпечена протягом усього періоду опалювального сезону. Одним із таких заходів може слугувати встановлення за котлом повітрянагрівачів, або комбінованих теплоутилізаційних систем, у яких шляхом утилізації теплоти димових газів нагріватиметься дуттьове повітря [12; 13]. Температура нагріваного повітря повинна забезпечувати відсутність конденсатоутворення в повітропідвідних каналах при застосуванні способу рециркуляції відхідних газів котла у дуттьове повітря.

Висновки

1. Результати досліджень показали, що застосування для опалювальних котлів, які не обладнані повітрянагрівачами, систем рециркуляції відхідних димових газів погіршує тепловологісні режими експлуатації повітропідвідних трактів та не забезпечує роботоздатності котельної установки за низьких температур навколишнього середовища.

2. Для покращення умов експлуатації котельних установок з рециркуляцією відхідних димових газів протягом усього опалювального періоду доцільним є застосування систем утилізації теплоти цих газів із використанням повітрянагрівачів.

Література

3. Плачкова С. Г. Энергетика. История, настоящее и будущее. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире. 2019. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/97-entsiklopediya/elektroenergetika-ta-okhorona-navkolishnogo-seredovishcha-funktsionuvannya-energetiki-u-suchasnomu-sviti/chastina-3-elektroenergetika-ta-okhorona-navkolishnogo-seredovishcha/rozdil-2-vpliv-teploenergetiki-na-navkolishne-seredovishche/271-2-3-metodi-znizhennya-vikidiv-toksichnikh-rechovin-v-atmosferu>
4. Енергозберігаюча технологія зниження викидів оксидів азоту котлами електростанцій і великих котелень. URL: <https://gas-inst.org.ua/2-3-snyzhennya-utvorennya-oksydiv-azotu-v-kotlah/>
5. Сигал И. Я., Дубоший А. Н., Сигал А. И., Смихула А. В. Повышение эффективности влияния рециркуляции дымовых газов на снижение выбросов оксидов азота котлами электростанций. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2010. №1. С. 48-52.
6. Fialko N. M., Stepanova A. I., Presich G. A., Gnedash G. A. Analysis of the efficiency of a heat recovery unit for heating and humidifying the blast air of the boiler. *Industrial heat engineering*. 2015. 37(4). P. 71-79.
7. Fialko N., Presich G., Navrodska R., Gnedash G. Ecological efficiency of combined heat recovery systems waste of exhaust gases for boiler plant. *Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhnika. Teoriya i praktyka budivnytstva*. 2013. Vol. 755. P. 429-434. URL:

- <https://science.lpnu.ua/sctp/all-volumes-and-issues/volume-755-2013-1/ekologichna-efektivnist-kombinovanih-sistem>
8. 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>
 9. 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>
 10. Fialko N. M., Presich G. A., Navrodska R. A., Gnedash G. A. Improvement of the complex heat-recovery system of exhaust-gases of boilers for heating and humidifying blown air. *Industrial Heat Engineering*. 2011. 33(5). P. 88–95.
 11. Михайленко В. С., Щербінін В. А., Лещенко В. В., Харченко Р. Ю., Ложечнікова Н. В. Моделювання процесу утворення шкідливих викидів у вихідних газах суднових парових котлів. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2020. Vol. 10, No. 3-4. P. 154-166
 12. Mysak Y. S., Zayats M. F., Rymar T. I. Researches of economic indicators of work modernized rah-98. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2017. No. 4. P. 27-34.
 13. Kuznetsov N. V., Mitor V. V., Dubovsky I. E. Thermal calculation of boiler units. Normative method. Moscow, Ekolite. 2011.
 14. 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. *Science and Innovation*. 2020. 16(3). P. 43-49. doi: <https://doi.org/10.15407/scine16.03.043>
 15. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. O., Gnedash G. O., Shevchuk S. I., Stepanova A. I. Kombinovani teploutilizatsiini systemy dlia

gazospozhyvalnykh kotliv komunalnoi teploenergetyky. Kyiv: «Pro format». 2019. 192 p.