

Технічні науки

УДК 536.24:621.184.5

Фіалко Наталія Михайлівна

доктор технічних наук, професор,

Член-кореспондент НАН України, завідувача відділом

Інститут технічної теплофізики НАН України

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Corresponding Member NAS of Ukraine, 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

Сергієнко Роман Володимирович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Serhiienko Roman

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

Гнєдаш 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*

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12156>

**ЕФЕКТИВНІСТЬ НОВИХ СИСТЕМ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ДЛЯ
КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ДИМОВИХ
ГАЗІВ
EFFICIENCY OF NEW HEAT-RECOVERY UNITS FOR BOILER
PLANTS WITH EXHAUST-GAS RECIRCULATION**

***Анотація.** Наведено результати досліджень ефективності використання для опалювального газоспоживального котла з рециркуляцією димових газів нової комбінованої системи теплоутилізації з газогрійним теплоутилізатором – підігрівачем зворотної тепломережної води та водогрійним теплоутилізатором – підігрівачем дуттьового повітря. Використання такої теплоутилізаційної системи забезпечує надійну експлуатацію повітропідвідних каналів котельної установки завдяки запобіганню в них конденсаутворенню та загальний приріст її ККД на $1,9 \div 4,5$ %.*

***Ключові слова:** глибоке охолодження димових газів, водогрійний та газогрійний повітронагрівачі, ККД котельної установки.*

Summary. *The results of research into the effectiveness of using a new complex heat-recovery system with a gas-heat recovery unit – a return water heater and a water-heat recovery unit – a combustion air heater for a gas-fired boiler with exhaust-gas recirculation are presented. The use of such a heat-recovery system ensures reliable operation of the air supply channels of the boiler plant by preventing condensation in them and an overall increase in its efficiency by $1.9 \div 4.9$ %.*

Key words: *deep cooling of waste gases, water-heat and gas-heat air heaters, boiler efficiency.*

Одним із напрямів покращення екологічних показників котельних установок є зменшення емісії оксидів азоту шляхом рециркуляції частини димових газів в топковий простір котла [1-3]. Застосування таких екологоефективних котельних установок пов'язано, як відомо, зі зниженням їхньої теплової ефективності [4]. Для комунальних котелень забезпечення теплової продуктивності екологоефективних котлів на необхідному рівні згідно з потребами тепломережного графіка призводить до перевитрат палива в котлі. Використання для таких котлів нових теплоутилізаційних технологій з попереднім підігріванням димовими газами зворотної тепломережної води та дуттьового повітря (рис. 1) перед надходженням цих теплоносіїв до котла [5] може компенсувати вказані перевитрати та додатково підвищити ефективність використання палива котельної установки при забезпеченні відвернення конденсатоутворення в її повітряному тракті [6; 7].

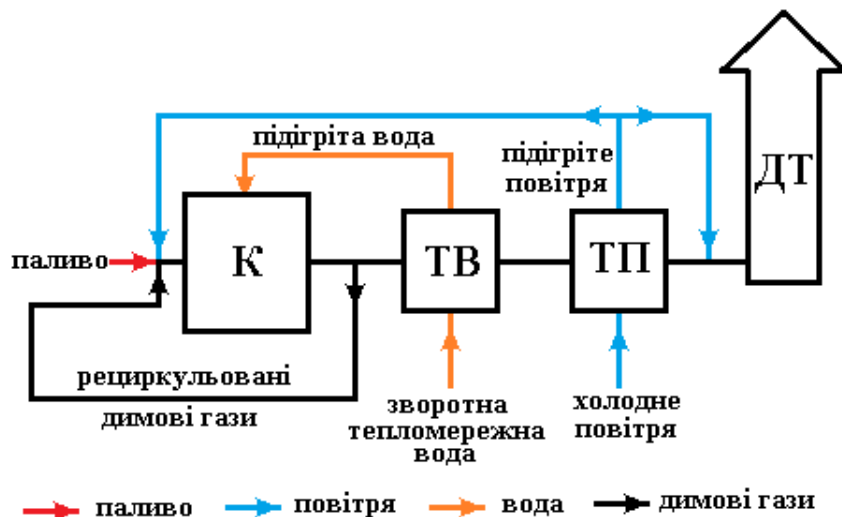


Рис. 1. Структурна схема котельної установки з традиційною системою теплоутилізації з газогрійним повітрянагрівачем:

К – котел; ТВ – теплоутилізатор-водонагрівач для підігрівання зворотної води; ТП – теплоутилізатор-повітрянагрівач для підігрівання холодного дуттьового повітря; ДТ – димова труба

Недоліком наведеної схеми є використання газогрійних теплоутилізаторів для нагрівання дуттьового повітря, усі конструкційні рішення яких характеризуються значними габаритами і металоємністю. До того ж, за такою схемою у повітрянагрівачі відбувається глибоке охолодження димових газів, що спонукає до виготовлення цього теплообмінника з легованої сталі, або інших антикорозійних матеріалів.

Для запобігання цим негативним явищам запропоновано використання для котлів з рециркуляцією димових газів нової комбінованої схеми з водогрійним повітрянагрівачем, який компонується з пучків оребрених труб з алюмінієвим оребренням. Теплообмінна поверхня повітрянагрівача є компактною та стійкою до хімічної дії кислого конденсату, що утворюється при глибокому охолодженні димових газів.

Метою роботи є дослідження теплової ефективності комбінованої теплоутилізаційної схеми з водогрійним повітрянагрівачем для котельних установок з рециркуляцією димових газів.

Використовувались відомі **методи** теплового розрахунку котельних

установок, а також результати власних досліджень теплообміну [8] за умов охолодження димових газів нижче температури їхньої точки роси.

Результати досліджень. Основні завдання дослідження полягали: у розробленні нової схеми теплоутилізації (рис. 2) з використанням газогрійного водонагрівача та водогрійного повітрянагрівача; виконанні теплового розрахунку котельної установки з пропонованою системою теплоутилізації в різних режимах експлуатації опалювального котла з рециркуляцією димових газів; зіставленні отриманих результатів з результатами для відомої комбінованої системи з двома газогрійними теплоутилізаторами (за рис. 1).

В пропонованій схемі дуттьове повітря нагрівається зворотною тепломережною водою перед надходженням її до газогрійного водонагрівача, що підвищує його теплову ефективність. До того ж, теплообмінна поверхня теплоутилізатора – повітрянагрівача (ТП), як і теплоутилізатора – водонагрівача (ТВ), компонується із оребрених біметалевих труб (сталева основа і алюмінієве оребрення), що забезпечує його високу компактність і низьку металоємність.

Вихідними даними для дослідження теплової ефективності запропонованої системи теплоутилізації для газоспоживальної опалювальної котельної установки слугували характеристики застосовуваного газоспоживального котла в номінальному режимі (табл. 1).

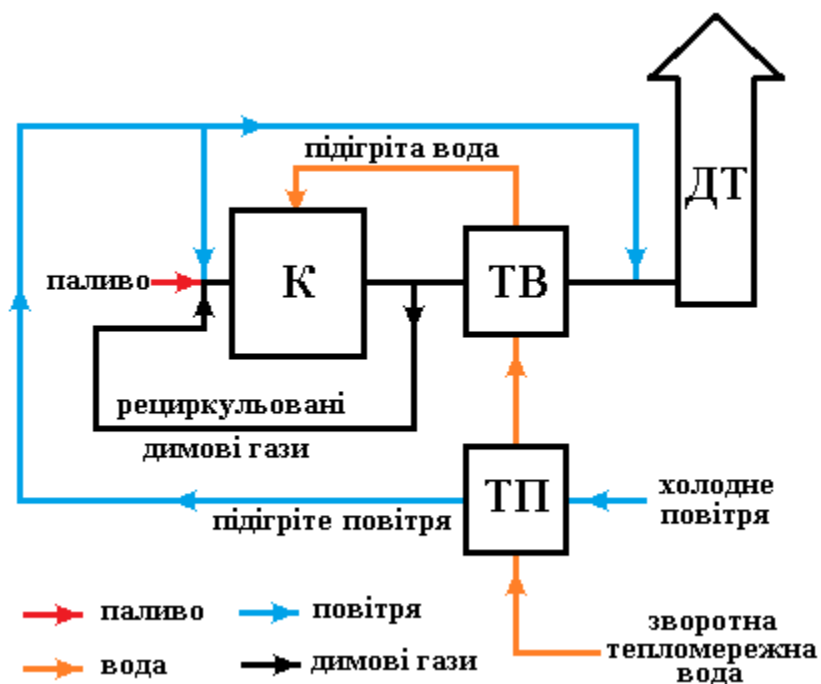


Рис. 2. Структурна схема пропонуваної котельної установки з водогрійним повітрянагрівачем:

К – котел; ТВ – теплоутилізатор-водонагрівач для підігрівання зворотної води; ТП – водо-повітряний теплоутилізатор-повітрянагрівач для підігрівання холодного дуттьового повітря; ДТ – димова труба

Частки підмішуваних газів σ при виконанні розрахункових досліджень приймалися рівними 10, 15 і 20 %.

Таблиця 1

Характеристики котла

Найменування характеристики	Значення
Теплопродуктивність, МВт	2,0
Вища теплота згоряння палива, ккал/м ³	9410
Коефіцієнт надлишку повітря	1,1
ККД за вищою теплотою згоряння палива, %	82,0
Температура тепломережної води на вході, °С	70
Температура тепломережної води на виході, °С	95
Витрата природного газу, м ³ /год	219
Температура димових газів за котлом, °С	160

На рис. 3 наведено отримані результати досліджень. Тут проілюстровано закономірності зміни загального (результуючого) ККД котельної установки за схемами рис. 1 та рис. 2.

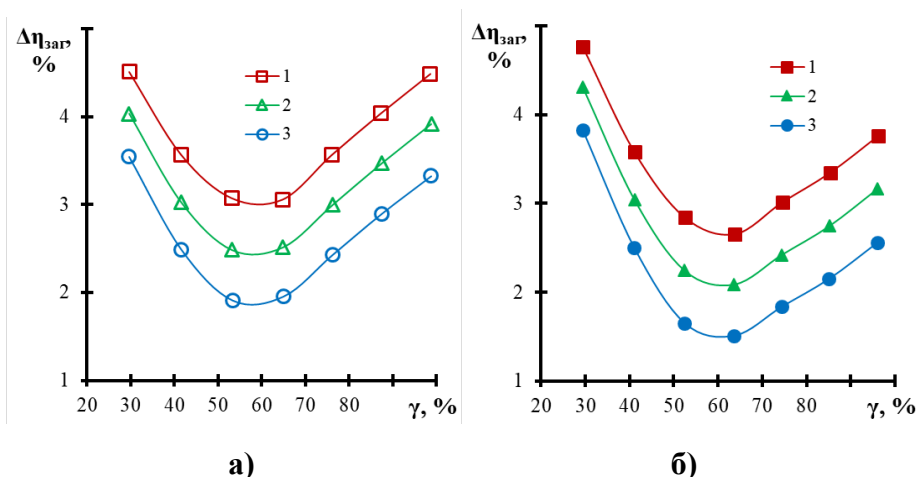


Рис. 3. Закономірності зміни загального значення ККД котельної установки $\Delta\eta_{\text{заг}}$ від її відносного теплового навантаження γ за різних часток σ рециркуляції газів при використанні водогрійного (а) і газогрійного (б) повітрянагрівачів:
1 – $\sigma = 10\%$; 2 – $\sigma = 15\%$; 3 – $\sigma = 20\%$

Загальне значення ККД визначалося з урахуванням його зменшення через рециркуляцію частини димових газів в топку котла з дуттьовим повітрям. Це зменшення зазвичай становить $1 \div 3\%$ за прийнятих часток байпасування відхідних газів котла.

Згідно з отриманими результатами, рівень підвищення ККД при використанні нової схеми становить $1,9 \div 4,5\%$ в залежності від навантаження котла та часток підмішування у дуттьове повітря димових газів. Вищі значення приросту ККД котла відповідають крайнім значенням розглянутого діапазону теплового навантаження котла. Причому для традиційної теплоутилізаційної системи за найнижчих величин вказаного навантаження приріст ККД є дещо вищим. Нижчий рівень приросту ККД котла для обох розглянутих систем відповідає теплопродуктивностям котла приблизно 60% , які реалізуються за температур повітря навколишнього середовища від мінус 5 до 0°C . За таких рівнів навантаження котла досягається невеликий рівень глибокого охолодження димових газів у теплоутилізаторі – водонагрівачі ТВ через недостатньо

низьку температуру ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) зворотної води на вході в систему теплоутилізації. Отримані результати щодо рівнів підвищення ККД за невеликих навантажень котла пояснюються тим, що зниження вказаної температури сприяє збільшенню рівня конденсації пари з димових газів у теплоутилізаторі – водонагрівачі ТВ і ККД підвищується. За умов великих навантажень котла збільшення ККД відбувається при підвищенні ефективності водогрійного теплоутилізатора-повітронагрівача ТП завдяки низькій вхідній температурі нагріваного повітря, що забезпечує суттєве зниження витрати палива на котел.

За результатами досліджень рівні підігрівання дуттьового повітря в пропонованій системі теплоутилізації становлять $33\ldots 52\text{ }^{\circ}\text{C}$, що забезпечує відвернення випадення конденсату у повітроводах котельної установки.

Висновки. Застосування пропонованої комбінованої теплоутилізаційної системи з водогрійним повітронагрівачем забезпечує:

- надійну експлуатацію повітропідвідних каналів котельної установки завдяки підігріванню дуттьового повітря у водогрійному повітропідігрівачі;

- загальний приріст ККД котельної установки $1,9 \div 4,5\%$ завдяки комплексному використанню утилізованої теплоти на нагрівання тепломережної води та дуттьового повітря. Значення ККД визначено з урахуванням втрат теплоти на рециркуляцію димових газів.

Література

1. Derii V. O., Teslenko O. I., Sokolovska I. S. Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2023. Vol. 75, No. 2. P. 44–56. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.03>

2. Nikitin Y., Dutka O. Technical and economic efficiency of combined district heating with local heat source for district hot water. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2020. No. 1. P. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2020.4>

3. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Степанова А. І., Шевчук С. І., Сергієнко Р. В. Теплові аспекти експлуатації опалювальних котельних установок з теплоутилізацією та рециркуляцією димових газів. *Енергетика і автоматика*. 2023. № 2. С. 5–17. DOI: [http://dx.doi.org/10.31548/energiya2\(66\).2023.005](http://dx.doi.org/10.31548/energiya2(66).2023.005)

4. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Serhiiienko R. V. Problems of operating heating boilers of increased environmental efficiency. *Natsionalnyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk*. 2023. No. 6. P. 54–60. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/054>

5. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. O., Gnedash G. O., Shevchuk S. I., Stepanova A. I. Combined heat recovery systems for gas-fired boilers of communal heat energy. Kyiv : Pro format, 2019. 192 p.

6. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Abdulin M. Operation features of environmentally efficient boiler plants of municipal thermal power engineering. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2023. Vol. 45, No. 2. P. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.6>

7. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Abdulin M. Improving the efficiency and reliability of boiler plants operation with flue gas recirculation. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2023. Vol. 45, No. 4. P. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2023.7>

8. 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. Vol. 28, No. 6. P. 103–108. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280620>