

Технические науки

УДК 536.24:621.184.5

**Фіалко Наталія Михайлівна**

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

**Фиалко Наталья Михайловна**

*доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Украины, заведующий отделом  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Fialko Nataliia**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of 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*

**Навродская Раиса Александровна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Navrodska Raisa**

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

**Новаківський Максим Олександрович**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Новаковский Максим Александрович**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Novakivskii Maksym**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Гнедаш Георгій Олександрович**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Гнедаш Георгий Александрович**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Gnedash Georgii**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Глушак Оксана Юріївна**

*головний технолог*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Глушак Оксана Юрьевна**

*главный технолог*

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Glushak Oksana**

*Chief Technologist*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**КОМПЛЕКСНІ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЛЯ КОТЛІВ  
МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ З ПІДВИЩЕНИМ  
ВОЛОГОВМІСТОМ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ**

**КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ  
КОТЛОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ С ПОВЫШЕННЫМ  
ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕМ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ**

**COMPLEX HEAT-RECOVERY SYSTEMS FOR BOILERS OF SMALL  
AND MEDIUM POWER WITH INCREASED MOISTURE CONTENT  
OF FLUE GASES**

***Аннотація.** Наведено результати досліджень тепловологісних режимів і теплової ефективності комплексних систем утилізації скидної теплоти котельних установок за умов підвищеного вологовмісту відхідних газів. Розглянуто системи, призначені для нагрівання котлової води, води системи хімоводоочищення та дуттьового повітря. Показано, що за теплотехнічними показниками системи з підігріванням котлової води і повітря на горіння мають переваги над системами з підігріванням вхідної котлової води і води на хімоводоочищення.*

***Ключові слова:** газоспоживальні котли, підвищений вологовміст, теплоутилізація відхідних газів, ефективність.*

***Аннотація.** Приведены результаты исследований тепловлажностных режимов и тепловой эффективности комплексных систем утилизации сбросной теплоты котельных установок при повышенном влагосодержании отходящих газов. Рассмотрены системы, предназначенные для нагрева котловой воды, воды системы химводоочистки и дутьевого воздуха. Показано, что по теплотехническим показателям системы с подогревом котловой воды и воздуха для горения имеют преимущества над системами для подогрева входной котловой воды и воды для химводоочистки.*

**Ключевые слова:** газопотребляющие котлы, повышенное влагосодержание, теплоутилизация отходящих газов, эффективность.

**Summary.** The results of studies of thermal and humidity regimes and thermal efficiency of complex systems for recovering waste heat from boiler plants with an increased moisture content of exhaust-gases are presented. Systems designed for heating boiler water, water of a chemical water treatment system and combustion air are considered. It is shown that, according to the heat engineering indications, systems with heating boiler water and combustion air have advantages over systems for heating input boiler water and water for chemical water treatment.

**Key words:** gas-fired boilers, increased moisture content, heat-recovery of exhaust-gases, efficiency.

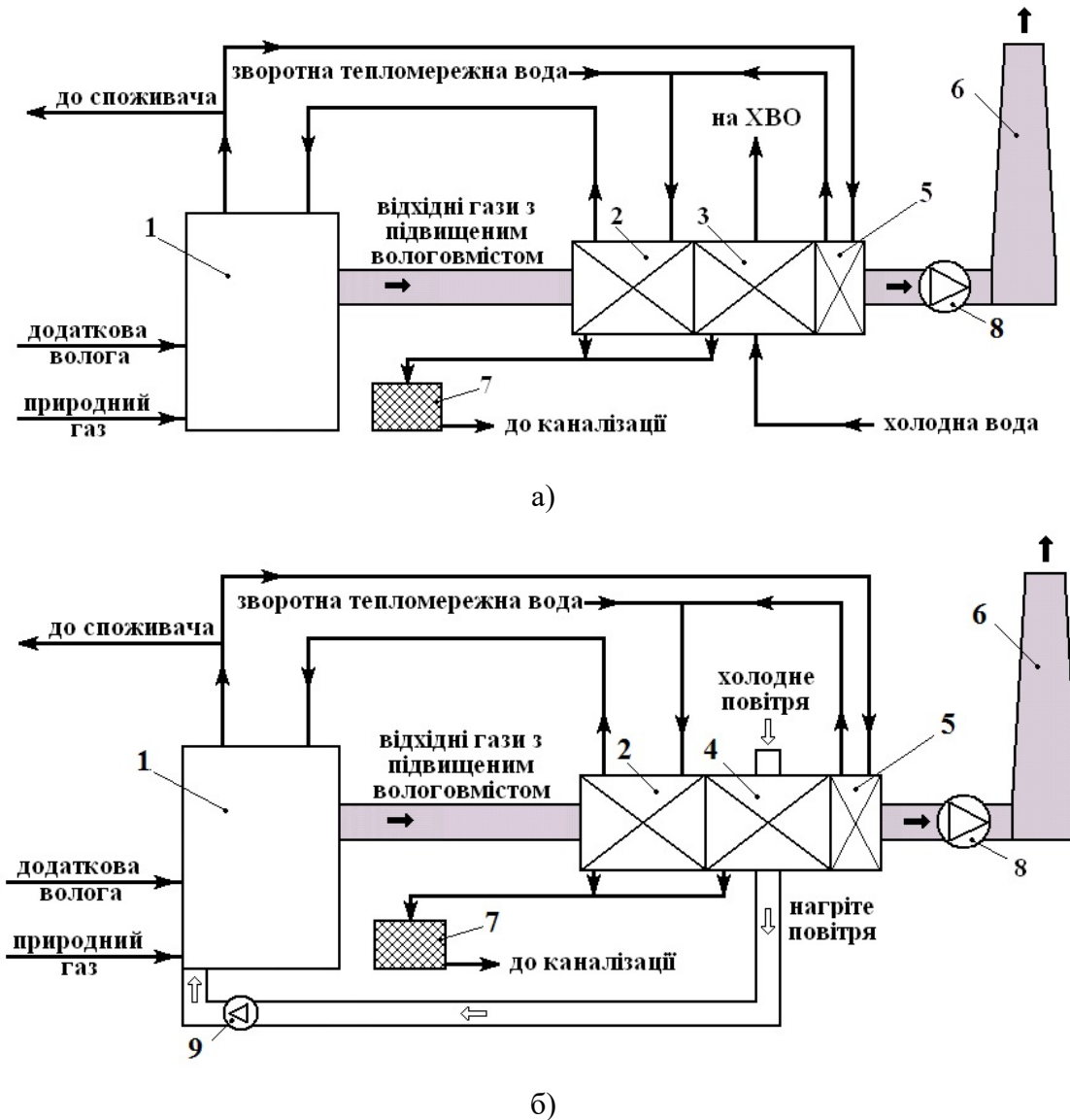
Одним з основних напрямів підвищення теплової ефективності газоспоживальних котлоагрегатів комунальної теплоенергетики є застосування нових прогресивних теплоутилізаційних технологій [1-11]. З-поміж таких технологій особливо виділяються технології з комбінованим використанням утилізованої теплоти [1-3; 6; 10]. Щодо покращення екологічних показників котельних установок, то тут на особливу увагу заслуговує зниження викидів оксидів азоту завдяки пригніченню їх утворення шляхом введення вологи в зону горіння.

Сумісне застосування прогресивних теплоутилізаційних технологій та введення вологи в зону горіння покликане підвищити як теплову, так і екологічну ефективність котельних установок комунальної теплоенергетики [4; 5; 10].

Дана робота присвячена дослідженню теплофізичних аспектів створення комплексних теплоутилізаційних систем за умов введення вологи у топковий простір котла. В роботі наведено результати

теплофізичних досліджень комплексних теплоутилізаційних систем з підігріванням вхідної котлової води і води на хімоводоочищення та систем для підігрівання котлової води і повітря на горіння при підвищених вологовмістах димових газів.

На рис. 1 наводяться принципові схеми котельних установок з вказаними системами.

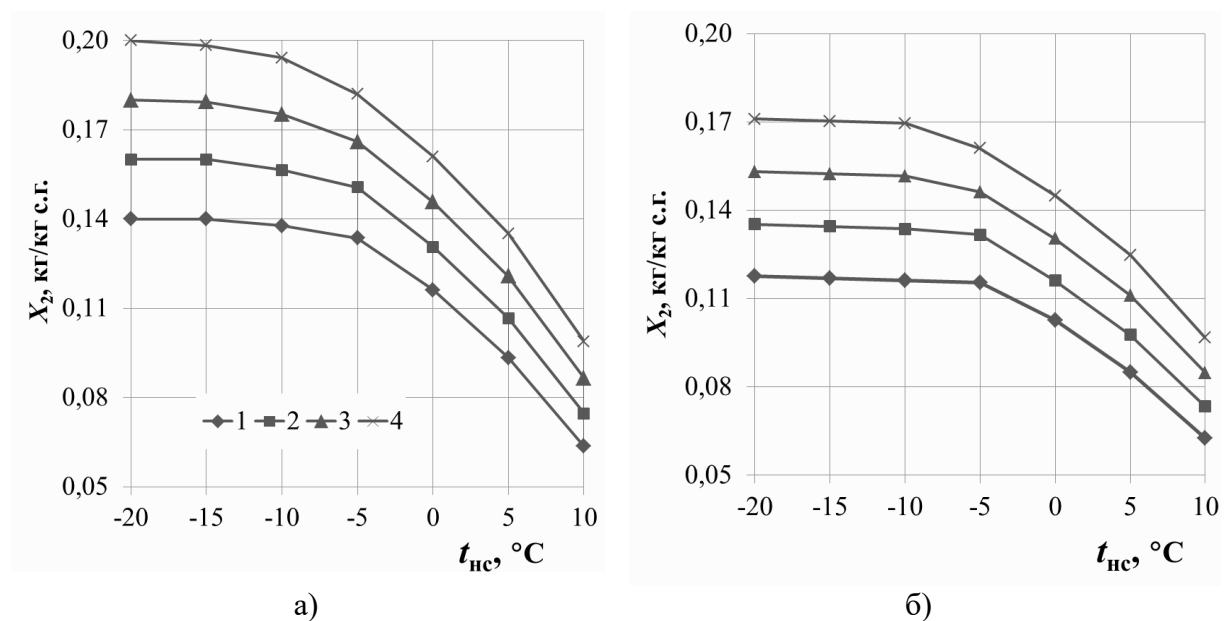


**Рис. 1. Принципова схема котельної установки з комплексними теплоутилізаційними системами:**

- а) – для підігрівання вхідної котлової води та холодної води на хімоводоочищення;
- б) – для підігрівання вхідної котлової води та повітря на горіння; 1 – водогрійний котел; 2 – підігрівач котлової води; 3 – підігрівач води хімоводоочищення; 4 – повітропідігрівач; 5 – газопідігрівач; 6 – димова труба; 7 – нейтралізатор конденсату; 8 – димосос; 9 – вентилятор

В теплоутилізаційній системі, зображеній на рис. 1 а, для більш глибокого охолодження димових газів за водогрійним теплоутилізатором встановлюється теплоутилізатор, призначений для нагрівання холодної води, що надходить на хімводоочищення. В теплоутилізаційній системі, поданій на рис. 1 б, для доохолодження димових газів після водогрійного теплоутилізатора застосовується повітрогрійний теплоутилізатор, у якому здійснюється підігрівання холодного повітря на горіння.

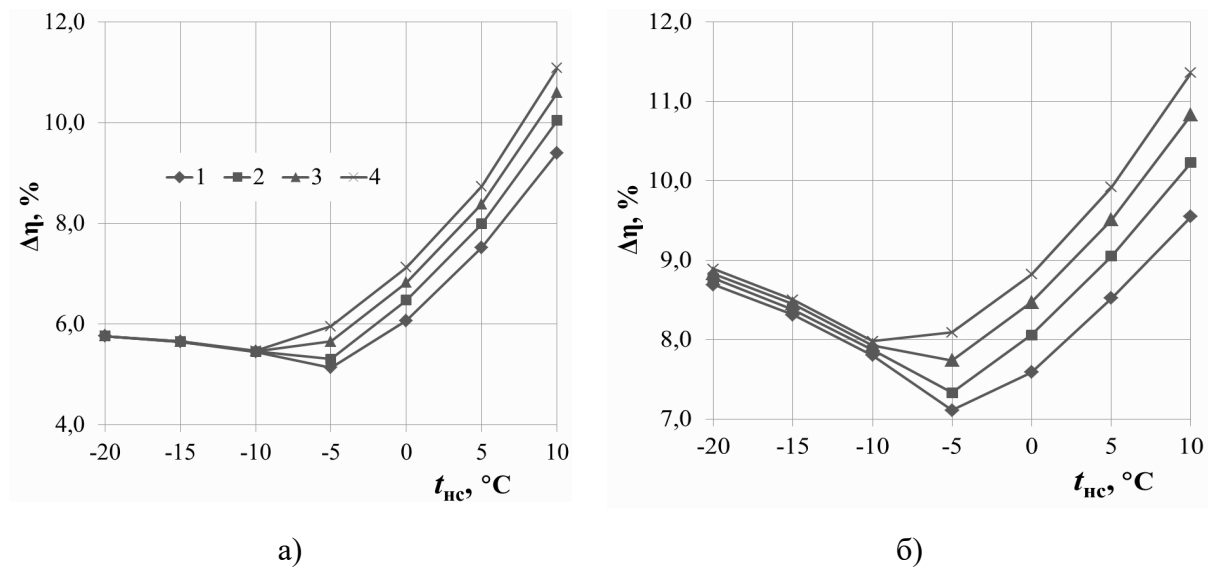
Рис. 2, 3 ілюструють результати виконаних розрахункових досліджень щодо закономірностей зміни вологовмісту димових газів та теплової ефективності для двох досліджуваних комплексних теплоутилізаційних систем.



**Рис. 2. Залежність вологовмісту димових газів на виході із теплоутилізаційної системи  $X_2$  від температури навколишнього середовища  $t_{nc}$  при різних значеннях вологовмісту  $X_1$  для комплексних теплоутилізаційних систем:**

- а) – з підігріванням вхідної котлової води та води на хімводоочищення; б) – з підігріванням вхідної котлової води та повітря на горіння; 1 –  $X_1 = 0,14$ ; 2 –  $0,16$ ; 3 –  $0,18$ ; 4 –  $0,2$  кг/кг с.г.

Дані, наведені на рис. 2, свідчать, що для систем з підвищенням вологовмісту димових газів на вході в теплоутилізатор  $X_1$  рівень конденсації водяної пари в теплоутилізаційних системах зростає. Зокрема, в системі з використанням повітрогрійного теплообмінника у порівнянні з системою, в якій використовується водогрійний теплообмінник для хімоводоочищення, рівень конденсації водяної пари є суттєво вищим взимку за низьких температур навколишнього середовища.



**Рис. 3. Залежність приросту  $\Delta\eta$  КВД (КВТП) котла від температури навколишнього середовища  $t_{nc}$  при різних значеннях вологовмісту  $X_1$  для комплексних теплоутилізаційних систем:**

а) – з підігріванням вхідної котлової води та води на хімоводоочищення; б) – з підігріванням вхідної котлової води та повітря на горіння; 1 –  $X_1 = 0,14$ ; 2 –  $0,16$ ; 3 –  $0,18$ ; 4 –  $0,2$  кг/кг с.г.

Як свідчать результати досліджень (рис. 3), за умов збільшення початкового вологовмісту димових газів  $X_1$  від  $0,14$  до  $0,2$  кг/кг с.г. забезпечується помітне зростання загального приросту КВД котла. Так для умов, що розглядаються, при застосуванні розглянутих систем теплоутилізації забезпечується приріст коефіцієнта використання теплоти палива КВТП котла на  $5,8\ldots 11,1$  % для систем з підігріванням вхідної котлової води і води на хімоводоочищення; та його КВД на  $8,9\ldots 11,4$  % для систем з підігріванням котлової води і повітря на горіння.

За результатами виконаних досліджень зроблено висновок, що теплоутилізаційні системи з підігріванням котлової води та повітря на горіння мають певні переваги над системами з підігріванням котлової води та води хімводоочищення, зокрема, щодо підвищення ККД або коефіцієнта використання теплоти палива КВТП котельної установки. Ці переваги обумовлені тим, що потреби систем хімводоочищення у тепловій енергії є обмеженими через відносно незначні нормативні обсяги води на підживлення теплових мереж (1,5...2 % від витрати котлової води) та невисокі необхідні рівні її попереднього нагрівання (зазвичай до 40 °С).

### Література

1. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Gnedash, G. O., Presich, G. O., & Shevchuk, S. I. (2020). Study of Heat Recovery Systems for Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units. *Science and Innovation*, 16(3), 43–49. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine16.03.043>
2. Fialko, N. M., Gnedash, G. O., Navrodska, R. O., Presich, G. O., & Shevchuk, S. I. (2019). Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(6), 79–82. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290616>
3. Fialko, N. M., Presich, G. A., Gnedash, G. A., Shevchuk, S. I., & Dashkovska, I. L. (2018). Increase the efficiency of complex heat-recovery systems for heating and humidifying of blown air of gas-fired boilers. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 40(3), 38–45. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>
4. Fialko, N., Navrodska, R., Ulewicz, M., Gnedash, G., Alioshko, S., & Shevcuk, S. (2019). Environmental aspects of heat recovery systems of boiler plants. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 100, p. 00015). EDP Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000015>
5. Navrodska, R., Fialko, N., Presich, G., Gnedash, G., Alioshko, S., & Shevcuk, S. (2019). 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. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000055>
6. Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Пресич Г.А., Новаковский М.О., Гнедаш Г.О., Шевчук С.И., Сбродова Г.А. Комбинированные теплоутилизационные системы котлов с повышенным влагосодержанием отходящих газов. *Технологические системы*. 2016. № 4 (77). С. 94–103.
  7. Фиалко Н.М., Степанова А.И., Навродская Р.А., Новаковский М.А. Анализ эффективности котельной установки с комбинированной теплоутилизационной системой при различных режимах работы котла. *Промышленная теплотехника*. 2017. № 1. С. 33–39. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.1.2017.05>
  8. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Степанова А.И., Навродская Р.А., Голубинский П.К., Новаковский М.А. Оптимизация конструктивных параметров конденсационного теплоутилизатора котельной установки. *Промышленная теплотехника*. 2008. № 3. С. 48–54. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/61140>
  9. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Степанова А.И., Навродская Р.А., Голубинский П.К., Новаковский М.А. Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа. *Промышленная теплотехника*. 2008. № 3. С. 68–76. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60915>
  10. Фиалко Н.М., Пресич Г.О., Гнедаш Г.О., Новаківський М.О., Глушак О.Ю. Ефективна комбінована теплоутилізаційна система котельних установок комунальної теплоенергетики. *Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: збірник трудов, Інститут промислової екології*. Київ: ІПЦ АЛКОН НАН України. 2017. С. 126–130.
  11. Фиалко Н.М., Гнедаш Г.А., Навродская Р.А., Пресич Г.А., Новаковский М.А. Влияние влагосодержания отходящих газов котлов на характеристики теплоутилизационных установок. *Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: збірник трудов, Інститут промислової екології*. Київ: ІПЦ АЛКОН НАН України. 2017. С. 122–126.