

Технічні науки

УДК 662.614.2:504.064.4

**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*

**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*

**Gniedash 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 (PhD), Senior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ  
СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДГРІВАННЯ І ЗВОЛОЖЕННЯ ДУТТЬОВОГО  
ПОВІТРЯ ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЛОАГРЕГАТИВ  
IMPROVEMENT OF THE COMPLEX HEAT-RECOVERY  
SYSTEM FOR HEATING AND HUMIDIFYING THE COMBUSTION  
AIR OF GAS-FIRED BOILER UNITS**

***Анотація.** Розглянуто особливості послідовного удосконалення комплексної системи утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегатів, яка призначена для підгрівання і зволоження дуттьового повітря. За результатами виконаних розрахункових досліджень обрано найбільш енергоефективне рішення теплоутилізаційної схеми.*

***Ключові слова:** димові гази, шкідливі викиди, оксиди азоту, витрата палива, теплоутилізатор.*

**Summary.** *The features of the consistent improvement of the complex system for recovering heat of the exhaust-gases of boiler units, designed for heating and humidifying the combustion air, are considered. Based on the results of the performed computational studies, the most energy-efficient solution of the heat-recovery scheme was chosen.*

**Key words:** *exhaust-gases, harmful emissions, nitrogen oxides, fuel consumption, heat-recovery exchanger.*

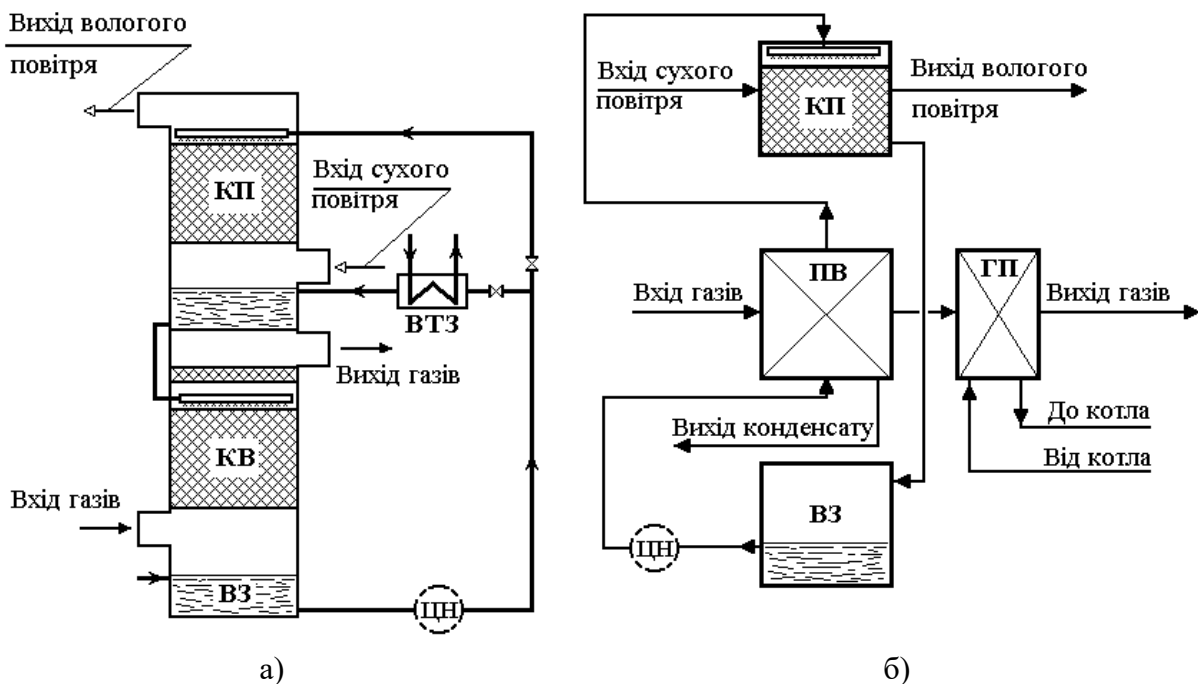
Ощадне використання природного газу та поліпшення екологічної ситуації є пріоритетними проблемами в світовій енергетичній сфері і зокрема в Україні. Одним із напрямів вирішення зазначених проблем в комунальній теплоенергетиці є застосування в газоспоживальних котельнях теплоутилізаційного обладнання [1-15] для підігрівання дуттьового повітря котлоагрегатів з одночасним його зволоженням за рахунок використання теплоти відхідних димових газів котлоагрегатів. Для реалізації зазначеного процесу існують відомі теплоутилізаційні системи (рис. 1 а), які містять контактний водопідігрівач КВ (власне теплоутилізатор), контактний повітропідігрівач КП та контур проміжного теплоносія (води) з водоводяним теплообмінником ВТЗ від зовнішнього споживача. В КП відбувається не тільки підігрівання, а і зволоження дуттьового повітря, завдяки чому зменшується витрата палива з відповідним скороченням викидів діоксиду вуглецю, а головне – значно скорочується утворення оксидів азоту в топці котлоагрегату і зменшується їх вміст у відхідних димових газах. Поряд з позитивними якостями такі системи мають суттєві недоліки – значні габарити протитокових контактних апаратів у висоту і низька температура підігрівання повітря, а відповідно – низькій ступінь його зволоження.

Очевидним є той факт, що при розробленні нового ефективного устаткування особливу увагу треба приділити створенню компактних

комбінованих теплоутилізаторів на основі малогабаритних теплообмінників агрегованих в одному корпусі.

Застосування таких теплоутилізаційних агрегатів забезпечуватиме у порівнянні з традиційним (неагрегованим) обладнанням наступні переваги:

– зменшення необхідної для розміщення установки вільної площі котельні;



**Рис. 1. Принципова схема комбінованої теплоутилізаційної системи для підігрівання та зволоження дуттьового повітря:**

**а – контактено-контактного типу; б – контактено-поверхневого типу;**

**КП – контактний повітропідігрівач; КВ – контактний водопідігрівач (теплоутилізатор); ВЗ – водозбірник; ВТЗ – водоводяний теплообмінник зовнішнього споживача; ЦН – циркуляційний насос; ГП - газопідігрівач**

– збільшення теплової ефективності теплоутилізаційної установки завдяки зменшенню теплових втрат, що обумовлено меншою зовнішньою площею;

– зменшення енергетичних витрат на переміщення теплоносіїв внаслідок зменшення аеродинамічного і гідравлічного опорів завдяки

скороченню протяжності комунікацій між елементами системи, а в деяких випадках – їх повному усуненню;

– зменшення металомісткості установки, а відтак і її вартості при виробництві.

Першим базовим заходом з удосконалення теплоутилізаційної системи (рис. 1а), що розглядається, було зняття обмеження по температурі води на виході з теплоутилізатора КВ шляхом виконання його поверхневим ПВ (рис. 1 б). Крім того, для запобігання конденсації вологи з охолоджених димових газів при подальшому переміщенні їх в газовідвідному тракті котельної установки на виході з теплоутилізатора розміщено поверхневий теплообмінник – газопідігрівач ГП, який підключено до контура теплоносія, що нагрівається в котлоагрегаті.

На другому етапі удосконалення (рис. 2) у модифікованих удосконалених схемах у порівнянні з базовою (рис. 1. б) застосовано поверхневі вододогрівач ВД, повітрянагрівач ПН та повітродогрівач ПД, що дозволяє підвищити температуру повітря перед входом в контактний апарат і температуру води, яка надходить до газопідігрівача.

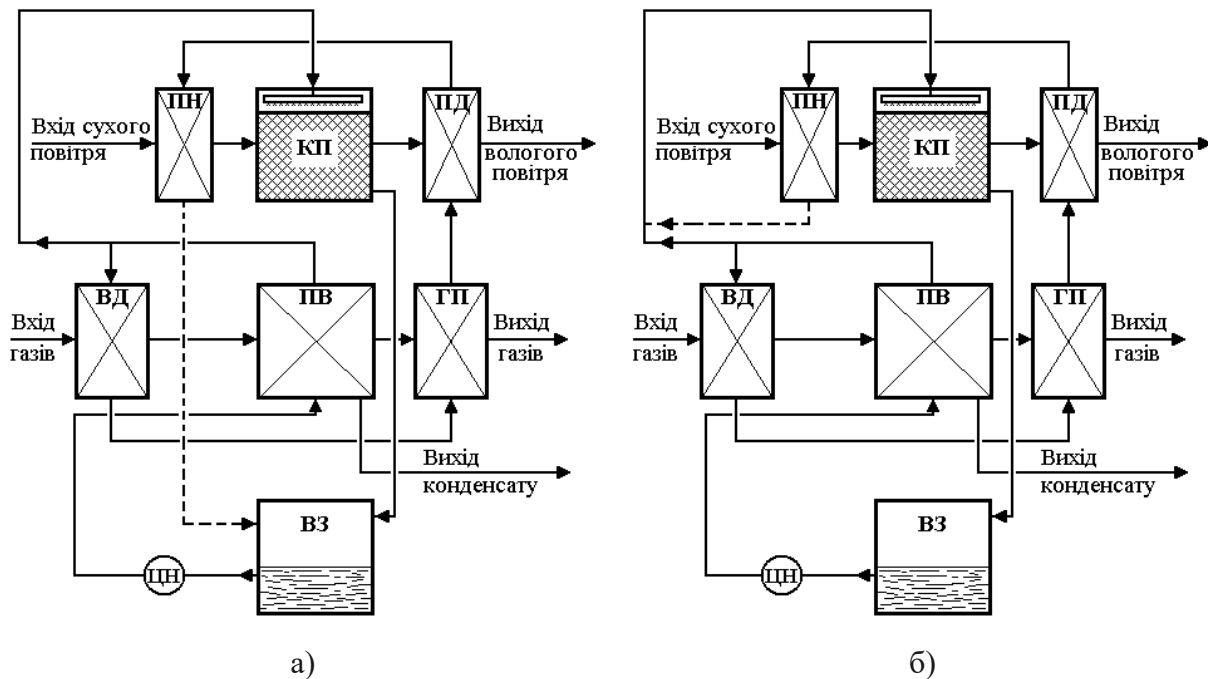
Це зумовлює збільшення теплопродуктивності контактного апарата і підвищення екологічної ефективності котельної установки за рахунок зменшення утворення оксидів азоту в топковому просторі котлоагрегата.

Завдяки наявності додаткового циркуляційного контура з відповідними елементами збільшується споживання системою теплової енергії на власні потреби і підвищується теплова ефективність всієї теплоутилізаційної системи. Також завдяки підвищенню температури води перед газопідігрівачем, є можливість забезпечення роботи системи без споживання теплової енергії від зовнішнього джерела на підсушування охолоджених газів і нагрітого повітря.

Другий варіант принципової схеми (рис. 2) відрізняється від першого тим, що вода після повітрянагрівача ПН надходить не у водозбірник ВЗ, а

разом із водою після поверхневого водонагрівача ПВ подається у контактний повітропідігрівач КП.

З метою визначення оптимального схемного і конструктивного рішення (рис. 2) при вдосконаленні теплоутилізаційної системи були проведені розрахункові дослідження її теплової ефективності в залежності від геометричних розмірів складових частин та їхнього компонування за використанням утилізованої теплоти.



**Рис. 2.** Вдосконалені принципові схеми комбінованої теплоутилізаційної системи для нагрівання та зволоження дуттьового повітря: а – перший варіант; б – другий варіант; ПН – повітрянагрівач; КП – контактний підігрівач (зволожувач повітря); ПД – повітродогрівач; ВД – вододогрівач; ПВ – поверхневий водопідігрівач; ГП – газопідігрівач; ВЗ – водозбірник; ЦН – циркуляційний насос

Слід зазначити, що зміна геометричних характеристик кожного структурного елемента системи суттєво впливає на параметри призначення інших. З метою визначення найбільш раціонального конструкційного рішення теплоутилізаційної системи була виконана серія відповідних теплових розрахунків.

Зіставлення отриманих даних показало, що за величиною приросту коефіцієнта використання теплоти палива найбільш ефективним із розглянутих схемних рішень є другий варіант (рис. 2 б). В табл. 1 для даного варіанту наведено результати теплового розрахунку досліджуваної комбінованої теплоутилізаційної системи.

Таблиця 1

**Основні результати теплового розрахунку комбінованої теплоутилізаційної системи для нагрівання та зволоження дуттьового повітря**

Найменування параметра	Позначення	Розмірність	Теплогенеруюча частина		Тепловикористовуюча частина			
			ВД	ПВ	ГП	ПН	КП	ПД
Теплопродуктивність	$Q$	кВт	25,8	69	7,3	8,9	68,9	8,3
Витрата води	$G_B$	кг/с	0,2	0,9	0,2	0,2	0,9	0,2
Температура води на вході	$t_{ВХ}^B$	°С	56,2	38,1	87,0	68,2	56,5	78,2
Температура води на виході	$t_{ВИХ}^B$	°С	87,0	56,2	78,2	57,4	38,1	68,2
Витрата газів (повітря)	$G_T (G_P)$	кг/с	0,51	0,51	0,51	0,49	0,49	0,49
Температура газів (повітря) на вході	$t_{ВХ}^Г (t_{ВХ}^П)$	°С	180	133	57	10	28	42
Температура газів (повітря) на виході	$t_{ВИХ}^Г (t_{ВИХ}^П)$	°С	133	57	70	28	42	58
Вологовміст на вході	$X_{ВХ}$	кг/кг с.г.	0,151	0,151	0,124	0,005	0,005	0,054
Вологовміст на виході	$X_{ВИХ}$	кг/кг с.г.	0,151	0,124	0,124	0,005	0,054	0,054
Площа поверхні нагрівання	$F$	м <sup>2</sup>	14,2	36,2	17,7	8,3	–	20,5

За результатами виконаних досліджень розроблено та впроваджено комбіновану теплоутилізаційну установку для підігрівання та зволоження дуттьового повітря в котельні Філіалу «Житлотеплоенерго Київенерго» за котлом Е-1,0-9Гн-2. Дані пуско-налагоджувальних випробувань цієї установки свідчать про те, що її застосування забезпечує підвищення коефіцієнта використання теплоти палива на 13,9 % і зменшення викидів оксидів азоту на 40-50 %.

**Висновок.** На основі проведених розрахункових досліджень різних модифікацій теплоутилізаційних систем для підігрівання і зволоження дуттьового повітря розроблено та теплофізично обґрунтовано нове технічне рішення удосконаленої комбінованої поверхнево-контактної теплоутилізаційної системи для газоспоживальних котлоагрегатів комунальної теплоенергетики. Результати розрахункових досліджень підтверджуються даними теплотехнічних випробувань впровадженого в діючій котельні розробленого теплоутилізаційного обладнання.

### Література

1. 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>
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. No 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. No 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. No 29(6), P. 79-82. doi: <https://doi.org/10.15421/40290616>
5. 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. No 33(5). P. 88–95
6. 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. No 755. P. 429-434. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/22345>
  7. Fialko N., Navrodska R., Ulewicz M., Gnedash G., Alioshko S., Shevcuk S. Environmental aspects of heat recovery systems of boiler plants. In *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 100. P. 00015. EDP Sciences. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000015>
  8. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O. The environmental reliability of gas-fired boiler units by applying modern heat-recovery technologies. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2020. No 2. P. 96-100. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/096>
  9. 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*. 2019. Vol. 100. P. 00055. EDP Sciences. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000055>
  10. Navrodska R. Preventing condensation in the chimney by reducing heat load boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2015. No 25(9). P. 307-312. doi: <https://doi.org/10.15421/40250948>
  11. Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., Presich G.A., Gnedash G.A. Heat methods for protecting the gas-escape channels of boiler plants when applying heat-recovery technologies. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2017. No 27 (6). P. 125-130

12. 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. No 4 (164). P. 24-30.
13. 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. Т. 39. №1. С. 33-40.
14. Fialko N.M., Navrodskaia R.A., Presich G.A., Novakovskiy M.A., Gnedash G.A. Комбинированные теплоутилизационные системы котлов с повышенным влагосодержанием отходящих газов. *Технологические системы*. 2016. № 4. С. 94-103.
15. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Пресіч Г.О. Аналіз ефективності систем захисту газовідвідних трактів котельних установок при застосуванні теплоутилізаційних технологій. *Промышленная теплотехника*. 2016. Вип. 38. С. 47-53.