

Технічні науки

УДК 536.7:628.5

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
Института технической теплофизики НАН Украины*

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*

Навродская Раиса Александровна

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

Navrodska Raisa

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Scientific Researcher, Leading 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 (PhD), Senior 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 (PhD), 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

Пресич Георгий Александрович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Presich Georgii

Candidate of Technical Sciences (PhD),

Senior Scientific Researcher, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНО АГРЕСИВНОГО
ВОДЯНОГО КОНДЕНСАТУ У ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ
КОТЕЛЬНЯХ КОМУНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ
НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИ
АГРЕССИВНОГО ВОДЯНОГО КОНДЕНСАТА В
ГАЗОПОТРЕБЛЯЮЩИХ КОТЕЛЬНЫХ КОММУНАЛЬНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ
DIRECTIONS FOR THE USE OF CHEMICALLY AGGRESSIVE
WATER CONDENSATE IN GAS-FIRED BOILER PLANTS OF
MUNICIPAL ENERGY**

Анотація. Наведено аналіз можливостей корисного використання або безпечного відведення кислого водяного конденсату, утвореного при глибокому охолодженні димових газів, за умов застосування прогресивних теплоутилізаційних технологій в газоспоживальних опалювальних котельнях.

Ключові слова: теплоутилізаційні технології, димові гази, конденсаційний режим, декарбонізація.

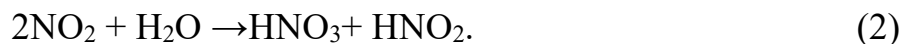
Аннотация. Приведен анализ возможностей полезного использования или безопасного отвода кислого водяного конденсата, образованного при глубоком охлаждении дымовых газов, в условиях применения прогрессивных теплоутилизационных технологий в газопотребляющих отопительных котельных.

Ключевые слова: теплоутилизационные технологии, дымовые газы, конденсационный режим, декарбонизация.

Summary. An analysis of the possibilities for the beneficial use or safe removal of acidic water condensate formed during deep cooling of flue gases under the conditions of the use of advanced heat recovery technologies in gas-consuming heating boilers is given.

Key words: *heat-recovery technologies, exhaust-gases, condensation mode, decarbonization.*

На сьогодні особливо гостро постала проблема ощадного використання природного газу, вартість якого на світовому ринку стрімко зростає і є загроза зменшення обсягів його закупівлі державою. Пріоритетною стає тенденція до скорочення витрат цього виду палива у різних галузях, що вимагає експлуатації енергоефективного обладнання. В Україні одним із вагомих споживачів природного газу є водогрійні опалювальні котлоагрегати комунальної теплоенергетики. Як показує практика, більшість з них характеризується відносно високою температурою відхідних газів, яка в залежності від режиму їхньої експлуатації протягом опалювального періоду коливається в діапазоні від 100 до 200 °С, що свідчить про нераціональну та підвищену витрату природного газу, та є додатковим джерелом забруднення навколишнього середовища. Одним із дієвих та економічно виправданих способів підвищення теплової та екологічної ефективності газоспоживальних котлоагрегатів є глибока утилізація теплоти їхніх відхідних димових газів – нижче точки роси водяної пари [1-7], у результаті чого утворюється водяний конденсат. Глибоке охолодження димових газів та використання теплоти конденсації водяної пари, що входить до складу цих газів, супроводжується значним тепловим ефектом, який забезпечує підвищення коефіцієнта використання теплоти палива котельної установки від 5 до 12 %. Також спостерігається значний екологічний ефект [6-12] завдяки зменшенню витрати палива та розчиненню в конденсаті оксидів вуглецю та азоту, а іноді і оксидів сірки. Контактуючи з водою, оксиди вуглецю і азоту в результаті хімічної реакції перетворюються у вугільну H_2CO_3 , азотисту HNO_2 і азотну HNO_3 кислоти. В такий спосіб отриманий водяний конденсат стає хімічно агресивним. Основні хімічні реакції утворення цих кислот описуються такими рівняннями:



При спалюванні в котлах природного газу значення показника водню отриманого водяного конденсату рН знаходиться в межах 3 ... 6. Утворений при глибокому охолодженні димових газів котлів конденсат характеризується також практично нульовою жорсткістю, що свідчить про те, що його можливо корисно використовувати у котельні (для промивання котлів або в системах хімоводоочищення) або для інших технологічних процесів поза котельнею (для пралень, теплиць, басейнів і т.д.). Можливі напрями застосування конденсату показані на рис.1. (Тут $G_{\text{кон}}$ – витрата конденсату).

У випадку, коли є потреба такий конденсат відвести до каналізації, а отже в подальшому у водний басейн навколишнього середовища, то необхідно враховувати деякі норми і правила. А саме, відведення конденсату до стічних вод можливо лише за умови зниження його кислотності до допустимих меж. Це потрібно для захисту каналізаційної мережі та відповідного обладнання, зокрема очисних споруд від передчасного зношення та недопущення загибелі бактерій, які використовуються на станціях аерації для очищення стічних вод.

У більшості розвинених країн скидання водяного конденсату в каналізаційну мережу суворо регламентується нормативними документами [13; 14]. В Україні також є чинні норми та правила щодо стічних вод до системи водовідведення [15]. Так, згідно Додатку 4 [15] маємо, що температура стічних вод повинна бути не вище 40 °С, а показник кислотності рН – в діапазоні 6,5 ... 8,5. Тому відведення конденсату до каналізації потребує обов'язкової попередньої підготовки.

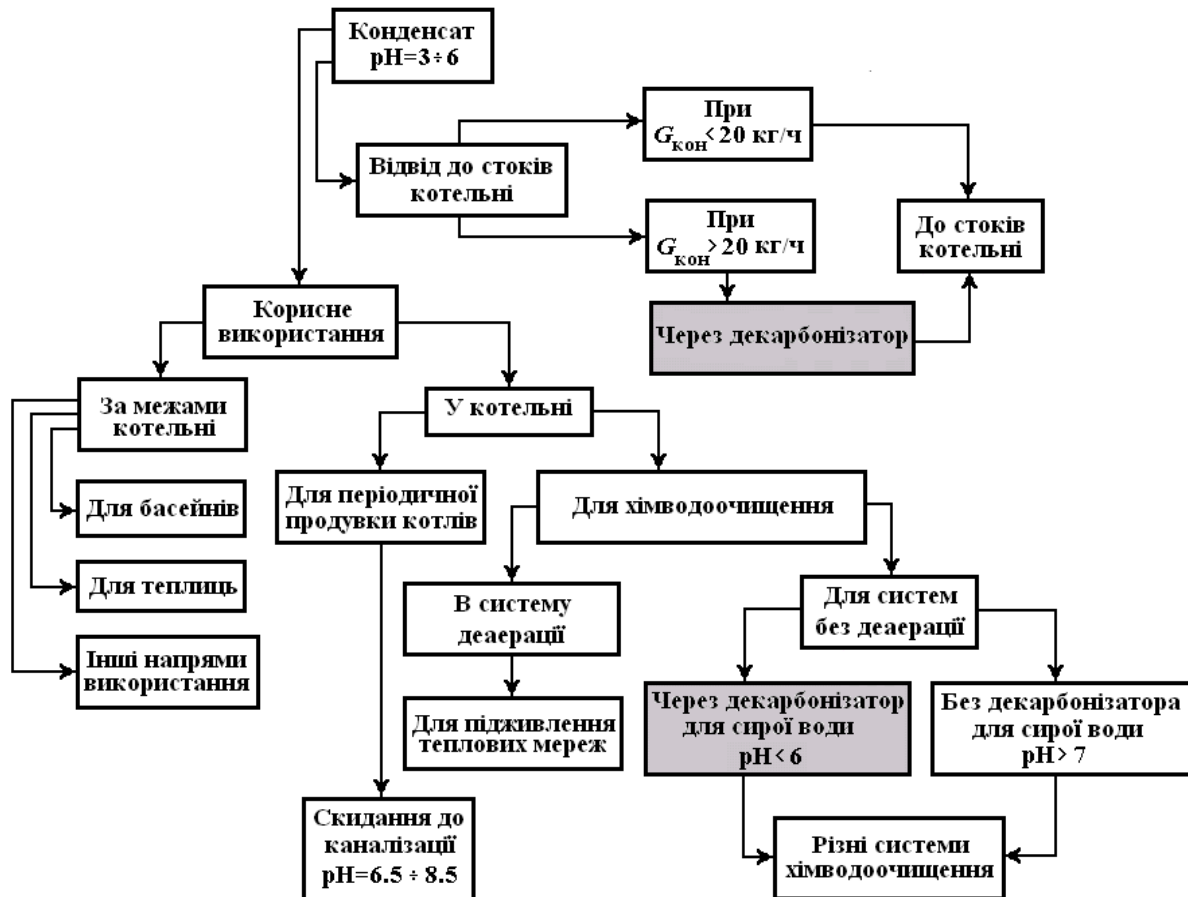


Рис. 1. Використання конденсату, утвореного при глибокому охолодженні відхідних газів котельних установок

Як видно з рис. 1 нейтралізація конденсату необхідна в двох ситуаціях:

а) при неможливості корисного використання і вимушеному скиданні до каналізації;

б) при використанні конденсату для підживлення теплових мереж при значній кислотності сирі води на хімоводоочищення.

Власні дослідження властивостей утвореного конденсату, отримані при експериментальних дослідженнях теплообміну в теплоутилізаційному обладнанні, показали, що конденсат на виході з теплоутилізатора містить 70 ... 100 мг/л розчиненої вугільної кислоти (H_2CO_3), жорсткість конденсату при цьому не перевищує 3 мг-екв/л. Такий конденсат досить агресивний і його необхідно декарбонізувати при неможливості корисного використання без нейтралізації.

За даними літературних джерел [5; 10] існують кілька шляхів декарбонізації конденсату, серед відомих в Україні найбільш поширеними є декарбонізація шляхом дегазації контактним методом, хімічна та при проходженні конденсату через гранульований фільтр, що містить карбонат кальцію, наприклад мармурову крихту або вапно.

При декарбонізації шляхом дегазації контактним методом необхідним є встановлення вентилятора, або організація продування повітря через декарбонізатор за допомогою димососа. При цьому створюється додаткове навантаження на димосос і газовідвідний тракт. В даному разі видалене з декарбонізатора повітря надходить до димової труби, що призводить до зниження температури відхідних газів та тяги димової труби. Другим недоліком даної схеми є додаткові викиди CO₂ (викиди парникового газу) за рахунок дегазації конденсату. До того ж, в результаті декарбонізації з конденсату повинна бути виведена вуглецева кислота в такій кількості, щоб показник рН становив 6,5 ... 8,5, що буде свідчити про нейтральність розчину. При цьому способі нейтральна реакція рН конденсату може бути досягнута лише при глибокому виведенні вуглекислоти в результаті нульової жорсткості конденсату. Це може потребувати значних витрат повітря для продування, а, відповідно, і великих енергетичних витрат.

Реалізація декарбонізації шляхом додавання хімічного розчину здійснюється завдяки додаванню хімічного нейтралізуючого розчину до конденсату (рис. 2). Реалізація цього процесу відбувається наступним чином: отриманий конденсат накопичується в спеціальному баку певного об'єму, розраховується необхідна кількість нейтралізуючої речовини (вапно, карбонат амонію і т.д.), після чого за допомогою насоса-дозатора до баку з конденсатом додається потрібна кількість нейтралізуючого розчину.

Цей процес легко піддається автоматизації. Наприклад, встановлюється датчик вимірювання рН конденсату, та при зниженні

вимірюваної величини нижче встановленого критичного рівня, спрацьовує програма приладів контролю, і включається насос-дозатор, який в автоматичному режимі додає потрібну кількість нейтралізуючої речовини.

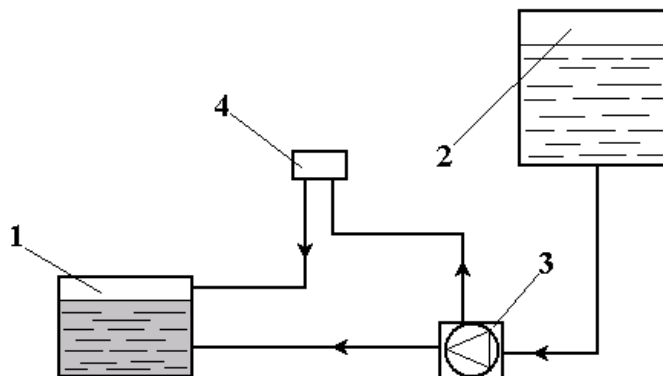
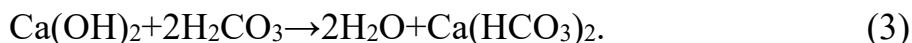


Рис. 2. Схема декарбонізації конденсату хімічним розчином:

1 – бак збору конденсату; 2 – ємність з розчином негашеного вапна; 3 – насос-дозатор; 4 – Ph-метр

Витрату вапна можна розрахувати за формулою:



Для реалізації процесу декарбонізації конденсату в автоматичному режимі необхідні відповідні капіталовкладення на насос і дозатор, а також на відносно високий рівень автоматизації цієї схеми нейтралізації.

Доречно зазначити, що хімічна нейтралізація конденсату здійснюється і при його додаванні до сирієї води, що надходить на хімводоочищення. Практично всі природні води містять солі вугільної кислоти, які мають буферні властивості. Тому рН природних вод зазвичай коливається від 7 до 7,5, так як іони HCO_3 перешкоджають CO_2 помітно знижувати рН води. Цю властивість природних вод можна використовувати для розведення води, що надходить на хімводоочищення, утвореним конденсатом. За цих умов установка спеціального нейтралізуючого обладнання не потрібна.

Декарбонізація з використанням фільтруючого матеріалу здійснюється при контакті конденсату з гранульованим фільтром (мармурова крихта) завдяки хімічній реакції між вільним кальцієм Ca, що

міститься в складі мармурової крихти, та вугільною кислотою H_2CO_3 . При реакції утворюється нерозчинна сполука $CaCO_3$. Видалення вугільної кислоти з конденсату при фільтруванні в шарі мармурової крихти вбачається як найбільш простий з розглянутих способів декарбонізації водяного конденсату та економічно доцільний, враховуючи доступність та відносно низьку вартість фільтрувального матеріалу.

Висновок. На основі проведеного аналізу виконано систематизацію шляхів використання конденсату, що утворюється в газоспоживальних комунальних котельнях, оснащених системами глибокої утилізації їх теплових викидів.

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. *Nauka innov.* 2020. V. 16, no. 2. P. 47-53. <https://doi.org/10.15407/scin16.03.047>
2. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., Gnedash, G. O., & Glushak, O. Y. (2019). 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. <https://doi.org/10.36930/40290821>
3. Fialko, N. M., Presich, G. A., Gnedash, G. A., Shevchuk, S. I., & Dashkovska, I. L. (2018). 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. <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. (2019). Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations. *Scientific Bulletin of UNFU.* 2019. № 29(6). P. 79-82. <https://doi.org/10.15421/40290616>

5. Efimov, A. V., Goncharenko, A. L., Goncharenko, L. V., & Esipenko, T. A. (2017). Sovremennye tekhnologii glubokogo okhlazhdeniia produktov sgoraniia topliva v kotelnykh ustanovkakh, ikh problemy i puti resheniia. *Kharkiv: Kharkiv Polytechnic Institute*. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/32826>
6. Fialko, N. M., Presich, G. A., Navrodskaia, R. A., & Gnedash, G. A. (2011). 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.
7. Fialko, N. M., Presich, G. O., Gnedash, G. O., Shevchuk, S. I., & Dashkovska, I. L. (2018). Improving the efficiency of heat recovery systems for heating and humidifying the blast air of gas-consuming boilers. *Industrial heat engineering*. 2018. № 40(3). P. 38-45. <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>
8. Fialko, N., Presich, G., Navrodska, R., & Gnedash, G. (2013). 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 politekhnika. Teoriya i praktyka budivnytstva*. 2013. № 755. P. 429-434. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/22345>
9. 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. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000015>
10. Novakivskii, M. Kompleksni teploutylizatsiyni systemy dlya kotliv maloyi ta serednoyi potuzhnosti z pidvyshchenym volohovmistom vidkhidnykh haziv [Complex heat-utilization systems for low and middle power boilers with increased moisture content of waste gases]. *The thesis for a Degree of "Candidate of Technical Science", specialty 05.14.06 / NAS of Ukraine, Kyiv, 2017, 21.*

11. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., & Gnedash, G. O. (2020). The environmental reliability of gas-fired boiler units by applying modern heat-recovery technologies. *Scientific Bulletin of National Mining University*, (2). <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/096>
12. 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. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000055>
13. Burger, H., & Boehle, W. (2000). Specification sheet ATV-A 251: Energy-saving high-efficiency boiler systems and condensation water removal; Arbeitsblatt ATV-A 251 schafft Klarheit: Energiesparende Brennwertanlagen und Kondenswasserableitung. *Waermetechnik-Versorgungstechnik*, 45. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20087888>
14. Fialko, N., Navrodska, R., Gnedash, G., Novakivskii, M., & Sbrodova, G. (2021). Use and disposal of acidic water condensate from gas-fired boiler units. *Municipal Economy of Cities*. 2000. № 4(164). P. 24-30. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-24-30>
15. On approval of the rules of sewage reception to centralized drainage systems and the procedure for determining the size of the charge for over-discharge wastewater to centralized drainage systems : order of the Ministry of Regional Development of Ukraine from 01.12.2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0056-18>