

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-105-3-187-195

УДК 628.511+ 66.045.7

Півненко Ю. О.<sup>1</sup>, Редько І. О.<sup>2</sup>, Череднік А. Д.<sup>1</sup>, Рушак Д. О.<sup>2</sup>, Бурда Ю. О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет будівництва та архітектури  
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [Pivnenko.Yura@gmail.com](mailto:Pivnenko.Yura@gmail.com), [artemcherednicc@gmail.com](mailto:artemcherednicc@gmail.com),  
[burda.yurii.1991@gmail.com](mailto:burda.yurii.1991@gmail.com);

[orcid.org/0000-0002-6675-2649](https://orcid.org/0000-0002-6675-2649), [orcid.org/0000-0002-3385-0584](https://orcid.org/0000-0002-3385-0584), [orcid.org/0000-0003-3470-1334](https://orcid.org/0000-0003-3470-1334))

<sup>2</sup>Український державний університет залізничного транспорту  
(майдан Фейєрбаха 7, Харків, 61050, Україна; e-mail: [ihor.redko1972@gmail.com](mailto:ihor.redko1972@gmail.com),  
[dmltriymonah58@gmail.com](mailto:dmltriymonah58@gmail.com); [orcid.org/0000-0002-9863-4487](https://orcid.org/0000-0002-9863-4487), [orcid.org/0000-0002-9721-7139](https://orcid.org/0000-0002-9721-7139))

## МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ І ОЧИСТКИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ВАГРАНКОВИХ ПЕЧЕЙ У ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ

Робота присвячена проблемам енергозбереження та екологічної безпеки промислових підприємств, що застосовують у своєму технологічному процесі вагранкові печі із спалюванням коксу для плавлення базальтової та доломітової шихти з метою отримання мінеральної вати. В результаті роботи вагранкових печей утворюється велика кількість шкідливих речовин, що потребують нейтралізації, а вторинна теплота зазвичай не використовується раціонально. Метою роботи є підвищення ефективності очищення та утилізації теплоти технологічних газів вагранкових печей. У роботі проведено аналіз методів утилізації теплоти і очищення відхідних газів вагранкових печей з метою удосконалення технологічного процесу виробництва мінеральної вати, зниження експлуатаційних затрат та підвищення ефективності очищення технологічних газів. Для досягнення поставлених задач застосовувались аналітичні та чисельні методи досліджень. Запропоновані комбіновані схеми утилізації теплоти і очищення газів, наведені варіанти застосування теплоти відхідних газів для виробництва пари, гарячої води та електроенергії. Наведені методи нейтралізації CO та зниження концентрації SO<sub>2</sub> у відхідних газах. Розглянуто можливості модернізації діючих та спорудження нових систем газовидалення, утилізації теплоти та очищення газів. Надано практичні рекомендації щодо впровадження енергозберігаючих заходів під час виробництва мінеральної вати у коксових вагранкових печах. Результатом впровадження запропонованих технологій має стати глибока утилізація теплоти відхідних газів з метою її корисного використання та зменшення викидів шкідливих речовин у атмосферу.

**Ключові слова:** очистка газів, котел-утилізатор, вагранкова піч, утилізація теплоти, рукавний фільтр, циклон, скрубєр.

**Вступ.** Під час технологічного процесу виготовлення мінеральної вати із застосуванням вагранкової печі утворюється газопиловий потік в результаті горіння коксу і плавлення базальтової і доломітової шихти. Дана суміш характеризується високою концентрацією CO, SO<sub>2</sub> та твердих включень.

В Україні значною проблемою є забруднення атмосферного повітря від промисловості. Вирішення проблем зменшення шкідливих викидів в атмосферу ускладнено тим, що на підприємствах встановлене застаріле обладнання яке потребує оновлення чи реконструкції. Ефективність застосування мокрого газоочищення показана в роботах [1-8]. Процес мокрого пиловловлення заснований на контакті забрудненого пилом газового потоку з рідиною, яка захоплює зважені частинки та виводить їх з апарату у вигляді шламу. Апарати мокрої очистки вирішують питання вловлювання твердих часток та шкідливих газів зокрема оксиду сірки. Проводяться дослідження відносно удосконалення роботи апаратів мокрого газоочищення у скрубєрах із киплячим шаром [9].

На сьогоднішній день найефективнішими апаратами очистки газів від твердих домішок є рукавні фільтри з імпульсною регенерацією [10-13]. Однак, застосування рукавних фільтрів не вирішує проблеми нейтралізації шкідливих газів. Окрім того рукава даних фільтрів горючі та мають обмеження щодо температури газів. В роботі [5] зазначено, що ефективність очистки збільшується при попередньому охолодженні газів. Утилізація тепла дозволяє знизити температуру відхідних газів перед системою очистки газів.

Питання масообміну в скрубєрах для абсорбції SO<sub>2</sub> детально розглядається в [1]. Показана ефективність застосування скрубєрів при інтенсифікації в них абсорбції SO<sub>2</sub>. Також

перспективність даного напрямку показана в результаті моделювання процесів абсорбції в роботах [2-3].

Актуальність проблеми утилізації вторинної теплоти досить детально розглянута авторами в роботі [14]. Відомі розробки зарубіжних [15] і українських [16] авторів відносно утилізації теплоти відхідних газів із застосуванням циклу Ренкіна на органічних речовинах. Цикли Ренкіна на органічних речовинах отримали назву органічних циклів Ренкіна (The Organic Rankine Cycle – ORC) та знаходять широке застосування у якості нових технологій утилізації скидної теплоти різних процесів, в промисловості та сільському господарстві.

При розробці схем утилізації тепла відхідних газів, а також при моделюванні техніко-економічних показників їх роботи в умовах неперервного регулювання потужності установки утилізації необхідно враховувати залежність режимних параметрів вагранкових печей від величини навантаження.

Оптимальне «вбудування» системи утилізації тепла в теплову схему котельні є одною з основних задач, рішення якої забезпечує ефективність впровадження утилізаційної установки. Принциповим тут є як вибір точки підводу тепла, що утилізується, так і розробка самої схеми утилізації. Необхідно зазначити, що ця частина роботи найменш типізована, і потребує самих ретельних проектних розрахунків.

Одним з методів використання теплоти відхідних газів є вироблення електроенергії для споживання на власні потреби.

Використання теплоти відхідних газів котлоагрегатів можливе для підігріву повітря, який подається в вагранкову піч. Температура повітря для забезпечення технологічного процесу має сягати не менше 500 °С, авторами в [17] досліджено ефективність подавання у піч повітря з температурою 600-700 °С.

Методи допалювання горючих домішок в технологічних газах в повному обсязі описані в [18].

**Мета роботи:** розроблення технологічних схем для утилізації теплоти і очистки відхідних газів вагранкових печей.

**Зміст роботи та результати дослідження.** В класичних схемах газовидалення вагранкових печей застосовують газові пальники для спалювання СО, які встановлюють безпосередньо у газоходах. Далі гази з температурою приблизно 750-800 °С поступають у повітряний рекуператор який являє собою кожух встановлений на газоході, відбір теплоти відбувається з поверхні газоходу. Після рекуператора технологічні гази охолоджуються у газоохолоджувачах до температури близько 200 °С і подаються в систему газоочищення, при цьому корисна теплота скидається в атмосферу. Система газоочищення, як правило складається із трьох ступенів - попередня очистка в циклонах, доочистка від твердих включень в рукавному фільтрі та абсорбція SO<sub>2</sub> у скрубєрі. Повітря через низьку ефективність рекуператора нагрівається до температури 150 °С. Внаслідок цього повітря поступає до газового теплогенератора та догрівається до необхідних показників після чого подається до вагранкової печі.

Подібні схеми характеризуються низькою енергоефективністю, великою енергоємністю та неефективним нагрівом повітря необхідного для горіння коксу. Допалення СО і нагрів повітря відбувається в різних елементах технологічної схеми, що призводить до збільшення витрати природного газу, зменшення надійності всієї системи. Триступінчате газоочищення збільшує аеродинамічний опір газового тракту і як наслідок витрати електроенергії на димососах та систем збору та видалення пилу.

Автори пропонують керуватись останніми новітніми розробками у даній сфері технологічні схеми які будуть забезпечувати ефективну роботу технологічної лінії в залежності від технологічних потреб того чи іншого підприємства (Рис. 1-8).

Нижче наведено два основних типи технологічних схем газовидалення від вагранкових печей.

Схема 1 (Рис. 1-4). В даній схемі застосовується рециркуляція відхідних газів з попереднім спалюванням CO у камері спалювання для підігріву повітря необхідного для горіння коксу. Гази після вагранкової печі розділяються на два потоки. Перший потік направляється до камери спалювання CO, другий потік поступає до котла-утилізатора із допаленням CO. В результаті утилізації теплоти на котлі-утилізаторі із економайзером утворюються водяна пара і гаряча вода, які можна застосувати для технологічних потреб та на потреби опалення.

Повітря нагрівається за двоступінчастою схемою. На першому етапі повітря підігрівається в теплообміннику «пара-повітря» до температури 150 °C після чого змішується із відпрацьованими газами після камери спалювання CO, підігрівається таким чином до заданої температури та потрапляє до вагранкової печі. Рециркуляція газів може негативно вплинути на викид технологічних газів, зокрема можливе збільшення викидів шкідливих речовин, що може призвести до збільшення енергозатрат на очистку газів. Питання рециркуляції потребує подальших досліджень.

Для зменшення енергоспоживання в загальному енергобалансі пропонується включення в схему теплоутилізаційної енергетичної установки для вироблення електричної енергії (Рис. 2, 4).

Система газоочищення обирається відповідно до потреб і можливостей того чи іншого виробництва. Так, в даній роботі розглядаються два варіанти очистки. В першому варіанті (Рис. 1, 2) в групі циклонів із газу видаляються крупні та середнього розміру тверді частки, у мокрому скрубєрі відбувається доочистка та абсорбція SO<sub>2</sub>. Недоліком даної системи є велика витрата води на очистку.

Другий варіант (Рис. 3, 4) являє собою сухий метод очистки у рукавному фільтрі із імпульсною регенерацією. Гази в даному варіанті також попередню очищуються в групі циклонів. Нейтралізація SO<sub>2</sub> здійснюється в реакторі киплячого шару сухими абсорберами. Недоліком даного варіанту є висока витрата стисненого повітря на регенерацію та абсорбуючого матеріалу.

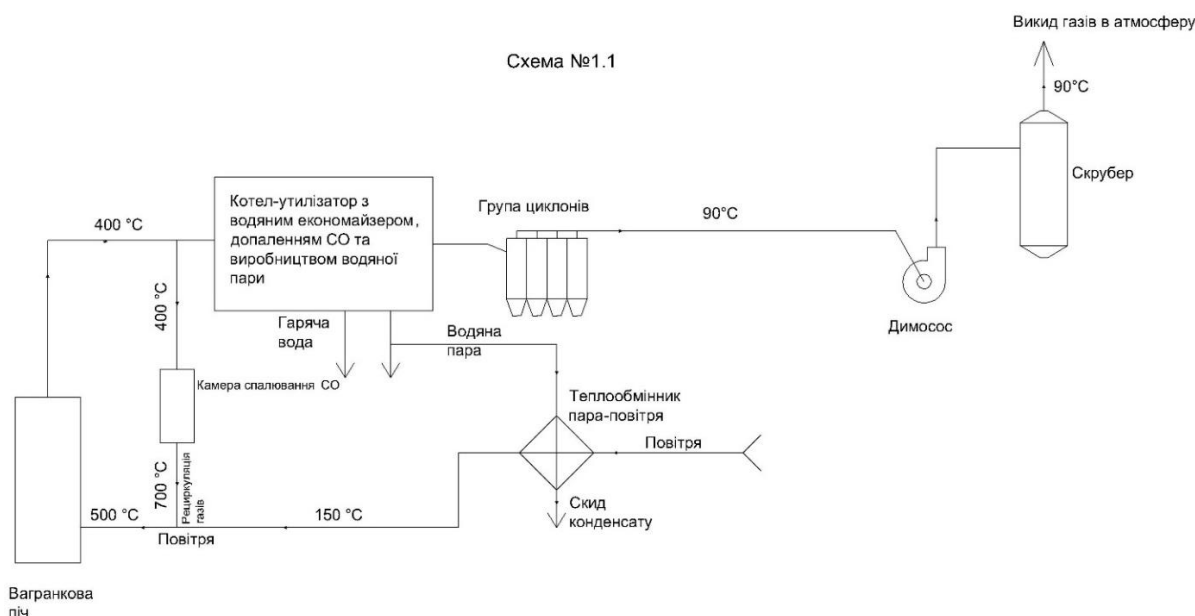


Рис. 1. Схема з рециркуляцією газів, виробництвом гарячої води і пари та мокрим газоочищенням

В даній роботі розглядаються триходові котли-утилізатори зі звичайними топковим камерами і додатковим вбудованим окремим ходом димогарних труб для використання надлишкового тепла

При використанні котлів-утилізаторів без додаткових топкових камер, як правило, потрібні додаткові котли пікових навантажень. Від них часто можна відмовитися при виборі варіанта конструкції завдяки наявності власних топкових камер. Значно скорочуються капіталовкладення, потреба в місці і витрати на оснащення. Збільшення ефективності та екологічності досягається завдяки використанню джерел надлишкового тепла.

В схемах газовидалення рекомендується застосовувати димососи з асинхронними електродвигунами із частотними перетворювачами. Це дозволяє забезпечити різні режими роботи печей та знизити витрати електроенергії на виробництві.

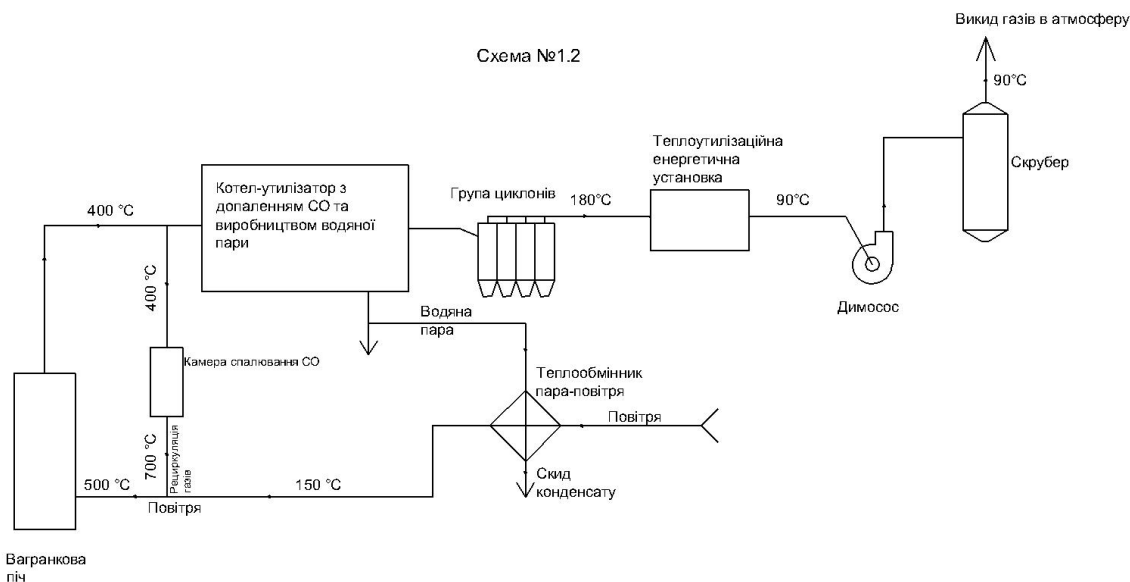


Рис. 2. Схема з рециркуляцією газів, виробництвом гарячої води, пари і електроенергії та мокрою газоочищенням

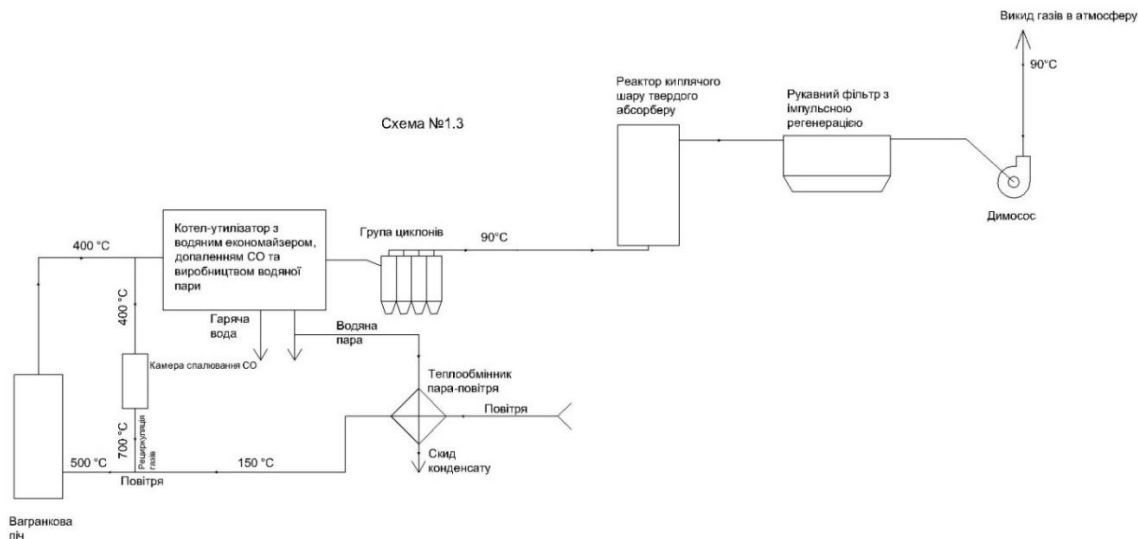


Рис. 3. Схема з рециркуляцією газів, виробництвом гарячої води, пари та сухим газоочищенням

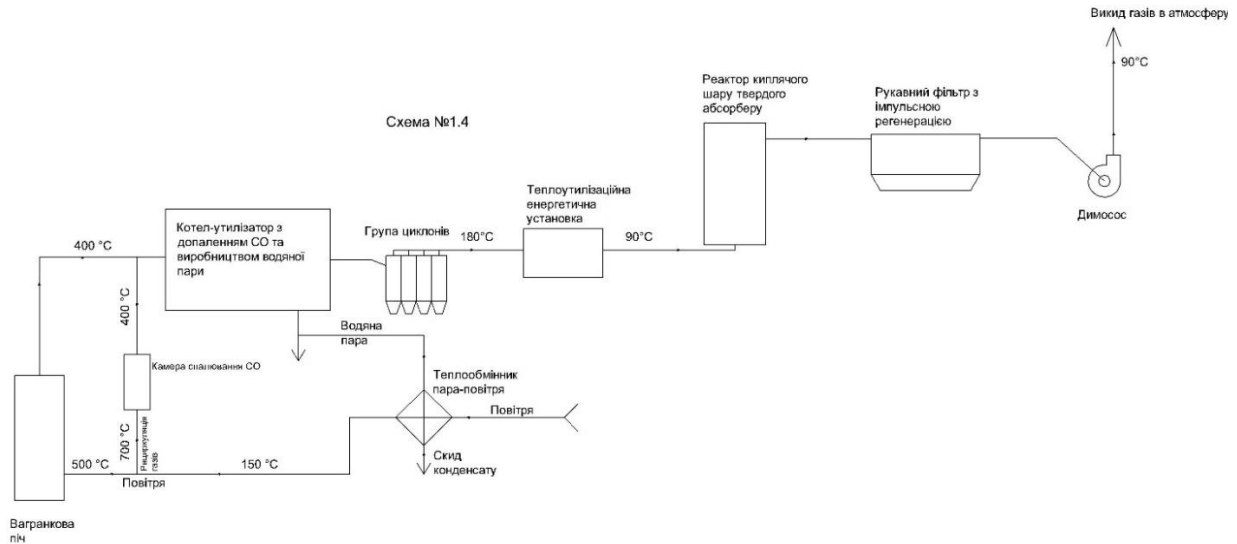


Рис. 4. Схема з рециркуляцією газів, виробництвом гарячої води, пари і електроенергії та сухим газоочищенням

Схема 2 (Рис. 5-8). Дана схема відрізняється принципово від наведеної вище відсутністю рециркуляції відхідних газів. Регенератор являє собою камеру, заповнену багатшаровими ґратами (насадкою) з вогнетривкої цегли, найчастіше динасової і шамотної, або з інших штучних виробів [19]. В роботі регенератора розрізняють два робочих періоду часу -  $t_1$  і  $t_2$ . Протягом періоду  $t_1$  через регенератор проходить гарячий теплоносій - дим, який нагріває цегляну насадку. Це димовий період або період нагріву насадки. Протягом періоду  $t_2$  через регенератор пропускають холодний теплоносій. Це період дуття або період охолодження насадки. Насадка віддає раніше акумульовану теплоту нагрівається повітрю або газу, тобто виконує роль посередника в теплообміні між димом і повітрям (газом).

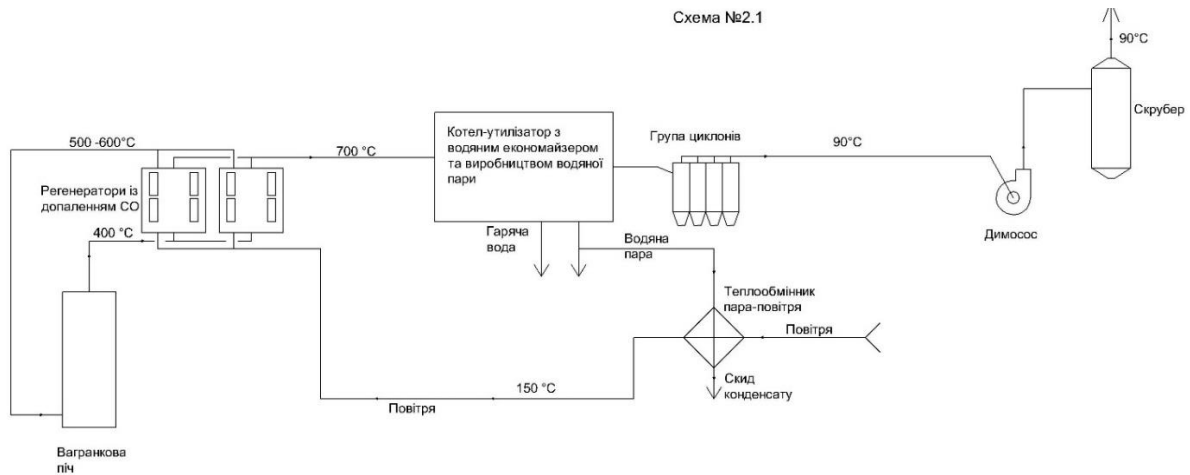


Рис. 5. Схема із газоповітряними регенераторами виробництвом гарячої води і пари та мокрим газоочищенням

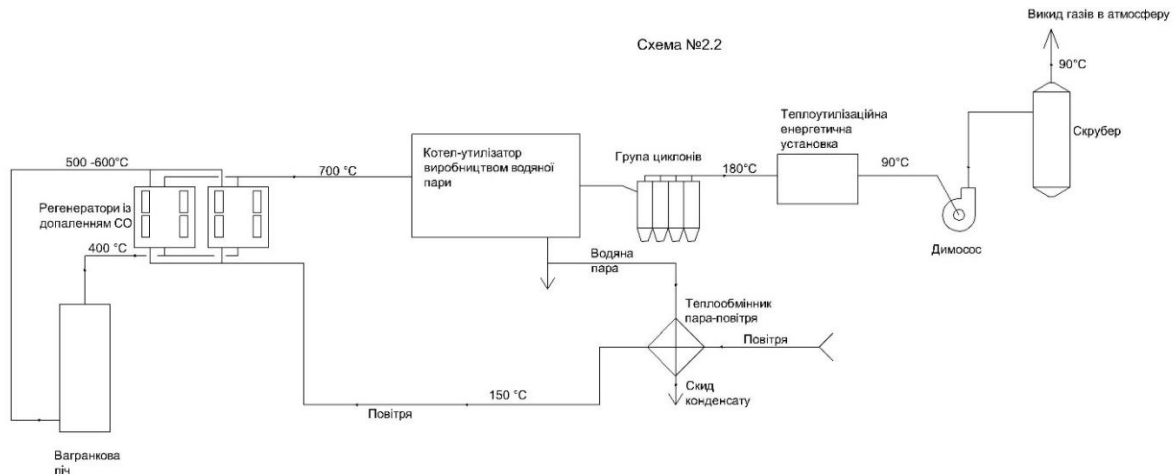


Рис. 6. Схема із газоповітряними регенераторами виробництвом гарячої води, пари і електроенергії та мокрим газоочищенням

У парових теплообмінниках пар від входу зверху розгалужується по вертикальних паралельним обрешечених трубках, в яких здійснюється передача теплоти повітрю і конденсація пари.

Для управління тепловими режимами роботи парових теплообмінників використовуються спеціальні схеми обв'язки. Використовувати для регулювання теплової продуктивності перепуск повітря не завжди доцільно, оскільки необхідно перепускати великі об'єми повітря, особливо в перехідний час року, для чого потрібні дуже великі розміри перепускних клапанів. Для регулювання теплової продуктивності парових теплообмінників застосовуються спеціальні регулюючі клапани на вхідній парової труби.

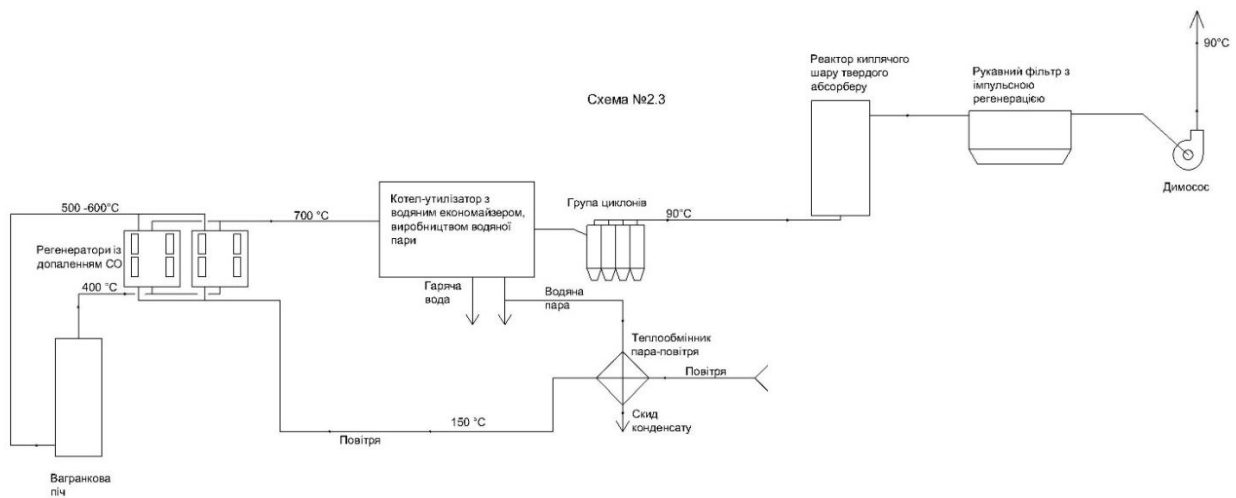


Рис. 7. Схема із газоповітряними регенераторами виробництвом гарячої води і пари та сухим газоочищенням

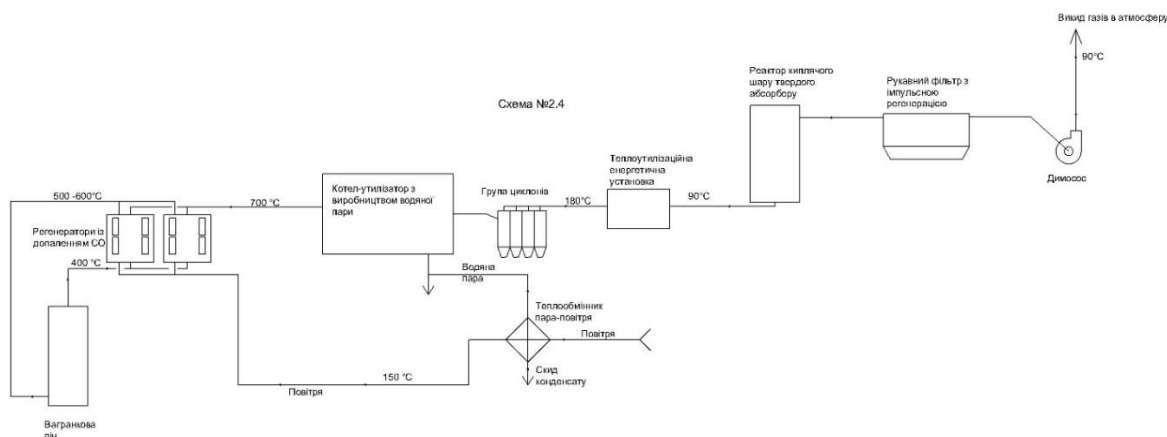


Рис. 8. Схема із газоповітряними регенераторами виробництвом гарячої води і пари та сухим газоочищенням

Найпрогресивнішою та найбільш економічною схемою можна вважати Схему 2.4 (Рис. 8). Однак її застосування може бути обмежено через високу вартість реалізації та великі габарити системи загалом.

**Висновки.** В даній роботі вперше були розроблені і представлені комбіновані схеми утилізації теплоти відхідних газів і їх очистки від шкідливих речовин. Розроблені заходи щодо зниження енергоспоживання систем газовиділення вагранкових печей. Запропоновані схеми дозволять знизити собівартість продукції, що випускається виробництвом.

Вирішення питань енергозбереження промислових підприємств дозволить значно покращити економічну ситуацію України, а впровадження сучасних методів уловлювання шкідливих речовин забезпечить екологічну безпеку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Qu J., Qi N., Li Z., Wang K. Z. P., Li L. Mass transfer process intensification for SO<sub>2</sub> absorption in a commercial-scale wet flue gas desulfurization scrubber. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. 2021. Vol. 166. 108478. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108478>.
2. Brown K., Kalata W. Schick R. Optimization of SO<sub>2</sub> Scrubber Using CFD Modeling. *Procedia Engineering*. 2014. Volume 83. pp. 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.035>.
3. Brogren C., Karlsson H. T. Modeling the absorption of SO<sub>2</sub> in a spray scrubber using the penetration theory. *Chemical Engineering Science*. 1997. Volume 52. Issue 18. pp. 3085-3099. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(97\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(97)00126-7).
4. Бурда Ю.О. Аналітичне обґрунтування переваг мокрого газоочищення в коксовій промисловості. *Науковий вісник будівництва*. 2017. вип. № 3 (том 89). С. 148-154.
5. Бурда Ю.О. Підвищення ефективності очистки коксового газу за рахунок впровадження трикутної насадки з хрестоподібними вирізами. *Науковий вісник будівництва*. 2017. вип. № 4 (том 90). С. 211-215.
6. Редько О.Ф., Чайка Ю.І., Бурда Ю.О. Уловлювання частинки бензолу в коксовому газі скруберами насадкового типу. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2017. Вип. 22. С. 31-37.

#### REFERENCES:

1. Qu J., Qi N., Li Z., Wang K. Z. P., Li L. Mass transfer process intensification for SO<sub>2</sub> absorption in a commercial-scale wet flue gas desulfurization scrubber. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. 2021. Vol. 166. 108478. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108478>.
2. Brown K., Kalata W. Schick R. Optimization of SO<sub>2</sub> Scrubber Using CFD Modeling. *Procedia Engineering*. 2014. Volume 83. pp. 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.035>.
3. Brogren C., Karlsson H. T. Modeling the absorption of SO<sub>2</sub> in a spray scrubber using the penetration theory. *Chemical Engineering Science*. 1997. Volume 52. Issue 18. pp. 3085-3099. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(97\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(97)00126-7).
4. Burda Yu.O. Analytichne obgruntuvannya perevah mokroho hazoochyschennia v koksovii promyslovosti. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. 2017. vyp. № 3 (tom 89). S. 148-154.
5. Burda Yu.O. Pidvyshchennia efektyvnosti ochystky koksovoho hazu za rakhunok vprovadzhenia trykutnoi nasadky z khrestopodibnymy vyrizamy. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. 2017. vyp. № 4 (tom 90). S. 211-215.
6. Redko O.F., Chaika Yu.I., Burda Yu.O. Ulovliuvannya chastynek benzolu v koksovomu hazi skruberamym nasadkovoho typu. *Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohapostachannia*. 2017. Vyp. 22. S. 31-37.

7. Редько О.Ф., Чайка Ю.І., Бурда Ю.О. Підвищення ефективності очищення коксового газу від пилу, вуглекислого газу та парів формальдегіду в скруберах насадкового типу. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2017. Вип. 23. С. 41-45.
8. Бурда Ю. О., Череднік А. Д., Редько І. О., Півненко Ю. О. Підвищення ефективності очищення газових викидів від ливарного виробництва. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2020. вип. 35. С. 31-36. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2020.35.21-25>.
9. Півненко Ю. О., Бурда Ю. О. Гідродинаміка трифазного киплячого шару в апаратах очистки вентиляційних викидів. 76-а науково-технічна конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури, 2021.
10. Сталинский Д. В., Шве́ц М. Н. Инновационные решения УкрГНТЦ «Энергосталь» по очистке пылегазовыделений на промышленных предприятиях. Экология и промышленность. 2011. № 2. С. 36-45.
11. Шве́ц М. Н., Пирогов А. Ю. Анализ инженерных решений УкрГНТЦ «Энергосталь» по очистке газов металлургических производств. Экология и промышленность. 2009. № 2. С. 23-30.
12. Шве́ц М. Н., Т. Ф. Тре́мбач, Д. В. Сталинский, А. Ю. Пирогов Применение рукавных фильтров для очистки аспирационных выбросов на коксохимических предприятиях. Экология и промышленность. 2006. № 1. С. 8-12.
13. Шве́ц М. Н., Пирогов А. Ю. Эффективные системы улавливания и очистки технологических газов и неорганизованных выбросов современных интенсивных электросталеплавильных печей. Экология и промышленность. 2008. № 2. С. 14-20.
14. Firth A., Zhang B., Yang A. Quantification of global waste heat and its environmental effects. Applied Energy. 2019. Volume 235. pp. 1314-1334. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.102>.
15. Loni R., Najafi G., Bellos E., Rajaei F., Said S., Mazlan M. A review of industrial waste heat recovery system for power generation with Organic Rankine Cycle: Recent challenges and future outlook. Journal of Cleaner Production. 2021. Volume 287. 125070. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125070>.
16. Редько А. А., Павловский С.В., Компан А.И., Пивненко Ю.А. Утилизация теплоты уходящих газов промышленных топливоиспользующих источников для производства электроэнергии. Международная конференция UKR-POWER 2011 «Проблемы энергоснабжения, безопасности, экологии в промышленной коммунальной энергетике». К.: Ассоциация
7. Redko O.F., Chaika Yu.I., Burda Yu.O. Pidvyshchennia efektyvnosti ochyshchennia koksovoho hazu vid pylu, vuhlekysloho hazu ta pariv formaldehidu v skruberakh nasadkovoho typu. Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohazopostachannia. 2017. Vyp. 23. S. 41-45.
8. Burda Yu. O., Cherednik A. D., Redko I. O., Pivnenko Yu. O. Pidvyshchennia efektyvnosti ochyshchennia hazovykh vykydiv vid lyvarnogo vyrobnytstva. Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohazopostachannia. 2020. vyp. 35. S. 31-36. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2020.35.21-25>.
9. Pivnenko Yu. O., Burda Yu. O. Hidrodynamika tryfaznogo kypliachoho sharu v aparatakh ochystky ventyliatsiinykh vykydiv. 76-a naukovotekhnichna konferentsiia Kharkivskoho natsionalnogo universytetu budivnytstva ta arkhitektury, 2021.
10. Stalinskij D. V., Shvec M. N. Innovacionnye resheniya UkrGNTC "Energostal" po ochistke pylegazovydelenij na promyshlennykh predpriyatiyah. Ekologiya i promyshlennost'. 2011. № 2. S. 36-45.
11. Shvec M. N., Pirogov A. Yu. Analiz inzhenernykh reshenij UkrGNTC "Energostal" po ochistke gazov metallurgicheskikh proizvodstv. Ekologiya i promyshlennost'. 2009. № 2. S. 23-30.
12. Shvec M. N., Trembach T. F., Stalinskij D. V., Pirogov A. Yu. Primenenie rukavnykh fil'trov dlya ochistki aspiracionnykh vybrosov na koksohimicheskikh predpriyatiyah. Ekologiya i promyshlennost'. 2006. № 1. S. 8-12.
13. Shvec M. N., Pirogov A. Yu. Effektivnye sistemy ulavlivaniya i ochistki tekhnologicheskikh gazov i neorganizovannykh vybrosov sovremennykh intensivnykh elektrostaleplavil'nykh pechej. Ekologiya i promyshlennost'. 2008. № 2. S. 14-20.
14. Firth A., Zhang B., Yang A. Quantification of global waste heat and its environmental effects. Applied Energy. 2019. Volume 235. pp. 1314-1334. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.102>.
15. Loni R., Najafi G., Bellos E., Rajaei F., Said S., Mazlan M. A review of industrial waste heat recovery system for power generation with Organic Rankine Cycle: Recent challenges and future outlook. Journal of Cleaner Production. 2021. Volume 287. 125070. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125070>.
16. Redko A. A., Pavlovskij S.V., Kompan A.I., Pivnenko Yu.A. Utilizaciya teploty uhodyashchih gazov promyshlennykh toplivoispol'zuyushchih istochnikov dlya proizvodstva elektroenergii. Mezhdunarodnaya konferenciya UKR-POWER 2011 «Problemy energosnabzheniya, bezopasnosti, ekologii v promyshlennoj kommunal'noj energetike». K.: Associaciya teploenergeticheskikh kompanij Ukrainy. 2011. S.75-77.



- теплоэнергетических компаний Украины. 2011. С. 75–77.
17. Luis C. J., Álvarez L., Ugalde M. J., Puertas I. A technical note cupola efficiency improvement by increasing air blast temperature. *Journal of Materials Processing Technology*. 2002. Volume 120. Issues 1–3. pp. 281-289. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01053-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01053-6).
  18. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М.: Химия, 1990. 304 с.
  19. Вирозуб И.В., Лейбович Р.Е. Расчеты коксовых печей и процессов коксования. Киев: Вища школа, 1970. 248 с.
  17. Luis C. J., Álvarez L., Ugalde M. J., Puertas I. A technical note cupola efficiency improvement by increasing air blast temperature. *Journal of Materials Processing Technology*. 2002. Volume 120. Issues 1–3. pp. 281-289. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01053-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01053-6).
  18. Bernadiner M.N., Shurygin A.P. Ognevaya pererabotka i obezvrezhivanie promyshlennykh othodov. М.: Himiya, 1990. 304 s.
  19. Virozub I.V., Lejbovich R.E. Raschety koksovykh pechej i processov koksovaniya. Kiev: Vishcha shkola, 1970. 248 s.

**Pivnenko Yu. O., Redko I. O., Cherednik A. D., Ruschak D. O., Burda Yu. O. METHODS OF HEAT RECOVERY AND PURIFICATION OF EXHAUST GASES FROM CUPOLA FURNACES IN THE PROCESS OF MANUFACTURING MINERAL WOOL.** The work is devoted to the problems of energy saving and ecological safety of industrial enterprises, which use in their technological process cupola furnaces with coke combustion for melting basalt and dolomite charge in order to obtain mineral wool. As a result of the operation of cupola furnaces, a large number of harmful substances are formed that need to be neutralized, and secondary heat is usually not used rationally. The aim of the work is to increase the efficiency of cleaning and heat utilization of process gases of cupola furnaces. The paper analyzes the methods of heat utilization and purification of waste gases of cupola furnaces in order to improve the technological process of mineral wool production, reduce operating costs and increase the efficiency of technological gas purification. Analytical and numerical research methods were used to achieve the set tasks. Combined schemes of heat utilization and gas purification are offered, variants of application of heat of exhaust gases for production of steam, hot water and the electric power are resulted. Methods of CO neutralization and reduction of SO<sub>2</sub> concentration in exhaust gases are given. Possibilities of modernization of existing and construction of new gas removal systems, heat utilization and gas purification are considered. Practical recommendations for the implementation of energy saving measures during the production of mineral wool in coke cupola furnaces are given. The result of the implementation of the proposed technologies should be a deep utilization of the heat of the exhaust gases in order to its useful use and reduce emissions of harmful substances into the atmosphere.

**Key words:** gas purification, boiler-utilizer, cupola furnace, heat utilization, bag filter, cyclone, scrubber.