

2023–2024 рр.

Роботу виконано з грантовою підтримкою Національного фонду досліджень України в рамках проєкту Інституту теплоенергетичних технологій НАН України 2022.01/0058 «Модернізація вугільних котлоагрегатів ТЕС і ТЕЦ з урахуванням диверсифікації їх паливної бази для забезпечення стабільного тепло- та енергопостачання і регулювання навантаження в енергосистемі».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Чернявський М. В., Провалов О. Ю., Косячков О. В. Науково-технічний супровід забезпечення роботи Трипільської ТЕС з використанням непроєктних палив в умовах воєнного стану // XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку»: Зб. наук. праць. – Київ: ІТЕТ НАН України, 2022. – С. 48–54.
2. Чернявський М. В. Стан та перспективи теплової генерації в умовах курсу України на безвуглецеву енергетику // Енерготехнології та ресурсозбереження. – 2021, № 4. – С. 4–16.

УДК 620.9:662.74

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОГО ЦИРКУЛЮЮЧОГО ГАЗУ УСТАНОВОК СУХОГО ГАСІННЯ КОКСУ ЯК ДОДАТКОВОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ НА КОКСОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

^{1,2}Когтін А. А.; ¹Мірошниченко Д. В., д.т.н., проф.

**1 – Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут»**

**2 – ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ПО
ПРОЕКТУВАННЮ ПІДПРИЄМСТВ КОКСОХІМІЧНОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ» (ДП «ГИПРОКОКС»)**

EXPERIENCE OF UTILIZING EXCESS CIRCULATING GAS IN COKE DRY COOLING PLANTS AS SUPPLEMENTARY SOURCE OF ENERGY AT COKE OVEN AND BY-PRODUCT ENTERPRISES

Kogtin A.; Miroshnichenko D., ScD, Prof

1 – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

2 – SE “GIPROKOKS”

Solutions suggested in the paper refer to utilizing alternative fuels to receive heat and electric energy at coke oven and by-product plants due to using chemical heat of excess circulating gases at coke dry cooling plants.

На даний момент одним з основних напрямків зменшення собівартості продукції металургійних підприємств є зменшення енергоспоживання підприємства, що в свою чергу потребує зниження витрати енергоресурсів та зменшення викидів забруднюючих речовин у довкілля. Для цього підприємствами реалізується комплекс заходів щодо зменшення енергоспоживання, як окремими цехами, так і підприємством в цілому, та запроваджуються нові енергоефективні технології. Велика увага приділяється максимально повному використанню наявних вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), що дозволяє окрім економії природних енергоресурсів знизити витрати на сировину, первинне паливо, електроенергію та інші ресурси, що в значній мірі впливає на собівартість основних продуктів, а отже і на економічну ефективність підприємства в цілому [1, 2].

Сухе гасіння коксу є яскравим прикладом ефективного використання ВЕР на коксохімічних виробництвах (КХВ). Сухе гасіння коксу відноситься до найкращих доступних технологій (Best available technology – BAT) для чорної металургії [3]. Ця технологія окрім такого важливого фактора як покращення якості коксу та виробництва пари енергетичних параметрів також суттєво зменшує викиди шкідливих речовин у довкілля. Подальший розвиток цієї технології відкриває нові можливості в підвищенні якості коксу сухого гасіння, енергоефективності та зменшенні шкідливого впливу на довкілля.

Процес сухого гасіння коксу реалізується в установках сухого гасіння коксу (УСГК). Розвиток технології сухого гасіння є однією з пріоритетних задач для ДП «ГИПРОКОКС». Основними напрямками розвитку є оптимізація раніше прийнятих рішень в конструкції УСГК та винаходження нових потенційних рішень, що дозволять підвищити одиничну потужність, енергоефективність та рішень, які забезпечать екологічну та експлуатаційну безпеку процесу.

Сухе гасіння є найперспективнішим напрямом використання тепла розжареного коксу. Технологія сухого гасіння свого часу розроблена і широко застосовувалась ДП «ГИПРОКОКС» у 1960 – 1980-х рр. В даний час внаслідок подорожчання енергоресурсів та вдосконалення конструкції УСГК інтерес до технології сухого гасіння значно зріс.

В УСГК тепло розпеченого коксу використовується для пари енергетичних параметрів (тиск 3,9 МПа, температура 440 °С) [4, 5]. Вихід пари згідно з технологічними нормами становить (при величині угару 0,3%) 1,50 ГДж/т коксу (0,36 Гкал) або 0,45 – 0,50 т пари/т коксу. Річне виробництво пари від гасіння коксу коксової батареї продуктивністю 1,0 млн т коксу/рік становить середньому $470 \cdot 10^3$ т.

Одним з основним факторів при будівництві УСГК є питоме вироблення перегрітої пари на гасіння однієї тони коксу. Саме тому світова тенденція у розвитку технології сухого гасіння спрямована на максимальний видобуток пари енергетичних параметрів, яка у подальшому використовується на вироблення електроенергії. Для досягнення цієї мети використовується максимальне спалювання горючих компонентів циркулюючого газу перед котлом-утилізатором УСГК.

В свою чергу збільшення видобутку пари підвищує втрати коксу від його спалювання (угар коксу). Тому пошук компромісу між видобутком пари енергетичних параметрів та втратами коксу при його спалюванні набуває все більшого значення [6].

У процес гасіння коксу на УСГК у контурі циркуляції утворюється надлишковий теплоносій, який зазвичай скидається в атмосферу. Газ, що скидається, має температуру 150–180 °С, містить у своєму складі горючі компоненти (H_2 , CO , CH_4) і може розглядатися як додаткове джерело ВЕР. Скидання надлишкового теплоносія в атмосферу призводить до забруднення навколишнього середовища та виключає можливість використання хімічного тепла надлишкових циркулюючих газів. Утилізація надлишкового теплоносія (циркулюючого газу) є однією з важливих задач для забезпечення екологічної безпеки УСГК, а також для можливості оптимізації режиму роботи установок. Одним із способів утилізації є використання надлишкового газу УСГК, як палива.

У цій роботі представлено досвід промислових випробувань системи утилізації надлишкових циркулюючих газів УСГК за допомогою спеціального вузла утилізації, основним елементом якого є котел-утилізатор. Впровадження спеціальної системи (вузла) з застосуванням котла-утилізатора спеціальної конструкції є не лише першим проектом ДП «ГИПРОКОКС» з утилізації надлишків циркулюючих газів УСГК, а й першим у світі проектом для досягнення такої мети.

Вузол утилізації надлишків циркулюючого газу (проект ДП«ГИПРОКОКС») призначений для теплового знешкодження та утилізації надлишкових циркулюючих газів блоків УСГК шляхом спалювання їх у суміші з коксовим газом з попереднім очищенням їх від коксового пилу. Принципова схема утилізації надлишкового циркулюючого газу УСГК за допомогою вузла утилізації представлена на рис. 1.

Згідно наведеної схеми відведення надлишкового циркулюючого газу з системи циркуляції УСГК здійснюється по окремому газоходу в спеціальний

котел-утилізатор, який має в своїй конструкції реактор та поверхні нагрівання. Перед подачею газів в реактор відбувається їх очищення від пилу. В реакторі відбувається термічна обробка надлишкових циркулюючих газів, в результаті якої утворюються відхідні гази, які віддають тепло поверхням нагрівання котла після чого вони відводяться за допомогою димососа в димову трубу. В реактор котла-утилізатора для створення відповідних умов підводиться газоподібне паливо (коковий газ) та повітря.

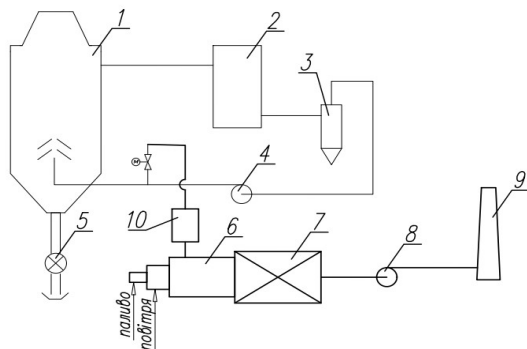
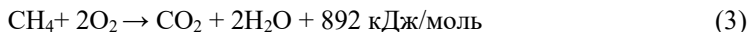
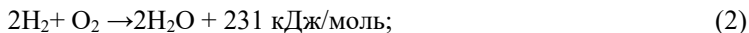
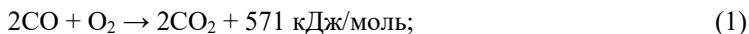


Рис. 1. Принципова схема утилізації надлишкового циркулюючого газу УСГК:
 а) обладнання УСГК: 1 – камера гасіння коксу; 2 – котел-утилізатор УСГК;
 3 – пилловловлююче обладнання (циклони або мультициклон);
 4 – циркуляційний вентилятор (димосос); 5 – розвантажувальний пристрій;
 б) обладнання вузла утилізації: 6 – реактор; 7 – поверхні нагрівання котла-утилізатора; 8 – димосос; 9 – димова труба; 10 – пилловловлюючий пристрій

Даний спосіб дозволяє використовувати хімічне тепло, яке міститься в надлишковому циркулюючому газі, що обумовлена наявністю горючих компонентів, в основному CO теплотворна здатність якого становить 3270 ккал/м³ [7], та інших компонентів таких як H₂ та CH₄ вміст яких є значно меншим.

Зниження концентрації та валового викиду CO та інших компонентів надлишкового циркуляційного газу відбувається шляхом допалювання його у футерованій камері (реакторі) котла-утилізатора до CO₂. Основні реакції теплового знешкодження надлишкового циркуляційного газу, які відбуваються в реакторі котла-утилізатора:



Таким чином надлишковий циркулюючий газ УСГК використовується як додаткове джерело енергії (використовується хімічна енергія горючих

компонентів) для видобутку пари енергетичних параметрів.

Для створення умов теплового знешкодження у котлі спалюється коксовий газ. Теплова частка від спалювання коксового газу (витрата $1000 \text{ м}^3/\text{год}$, теплота згоряння нижча $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 3900 \text{ ккал/м}^3$) – 0,37, від спалювання циркулюючого газу (при витраті $15000 \text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 437 \text{ ккал/м}^3$) – 0,63. При даній калорійності надлишкових циркулюючих газів УСГК розрахунковий вміст горючих компонентів у циркулюючому газі УСТК має становити: $\text{CO} = 10,4\%$, $\text{H}_2 = 2,8\%$, $\text{CH}_4 = 0,6\%$. Розрахунковий ККД котла за номінального навантаження – не менше 86%.

До котла-утилізатора підводяться надлишки циркулюючого газу від скидних свічок блоків УСТК та коксовий газ. Надлишок циркулюючого газу разом з коксовим газом спалюється в неекранованій топці (реакторі), в якій встановлено спеціальний пальник. Коксовий газ у котлі використовується для «підсвічування» при горінні низькокалорійного циркулюючого газу. Кількість коксового газу, що споживається, може бути встановлено мінімально необхідним для забезпечення повного спалювання надлишків циркулюючого газу, а також виходячи із забезпечення стабільного виробництва пари в котлі в умовах циклічної зміни кількості і теплоти згоряння циркулюючого газу, що утилізується. Витрата споживаного коксового газу регулюється автоматично. Зниження концентрації та валового викиду CO відбувається шляхом допалювання його в термічному реакторі котла до CO_2 . Зниження концентрації та валового викиду NO_x відбувається шляхом організації ступінчастого підведення повітря. Для зменшення концентрації пилу перед котлом встановлюються пиловловлюючі пристрої (циклони і тканинні фільтри). Котел утилізації надлишків циркулюючих газів виконаний в U-подібному компонуванні з примусовою циркуляцією. У котлі по ходу газів послідовно розташовані: реактор знешкодження з пальником коксового газу, куди подаються гази для знешкодження; передвключена випарна поверхня; пароперегрівач; випарна поверхня; водяний економайзер.

Регулювання подачі паливного (коксового) газу та повітря здійснюється для підтримання стабільного температурного режиму та відбувається в залежності від компонентного складу надлишкового циркулюючого газу та його витрати.

Промислові випробування проведені на одному з об'єктів ДП «ГИПРОКОКС» при умовах фактичної роботи блоків УСГК. Фактичне навантаження блоків УСГК в період проведення випробувань становило 50–60% від номінального. Середня витрата надлишкових циркулюючих газів, що подаються на утилізацію за показаннями приладу, склала $5600 \pm 9600 \text{ м}^3/\text{год}$ при

$t_r = 185 \div 196 \text{ }^\circ\text{C}$ ($3300 \div 5700 \text{ нм}^3/\text{год}$). При цьому середній вміст горючих компонентів в надлишкових циркулюючих газів за показаннями газоаналізатора: складав $\text{CO} = 3,7 \div 5,2\%$, $\text{H}_2 = 0 \div 1\%$, $\text{CH}_4 = 0 \div 0,1\%$. При такому вмісті горючих компонентів теплота згоряння циркулюючих газів становила $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 103 \div 180 \text{ ккал/нм}^3$.

За результатами проведених промислових випробувань можна зробити такі висновки:

1. Аналіз вимірювань та подальших розрахунків викидів забруднюючих речовин із блоків УСГК показав наступне:

– при гасінні коксу в УСГК в атмосферне повітря надходить ряд забруднюючих речовин (CO , CO_2 , SO_2 та інші). Максимальний внесок (до 99%) робить оксид вуглецю CO (зі свічки скидання надлишкового циркулюючого газу): фактичний показник максимально-разового викиду оксиду вуглецю від блоків УСГК становив $\sim 103 \text{ г/сек}$ (3236 т/рік), а при рекомендованому ДП «ГИПРОКОКС» вмісті CO на рівні 10,4% (на проєктних параметрах) в циркулюючих газах може становити до 216 г/сек (до 6812 т/рік);

– в період випробувань фактичний показник вмісту оксиду вуглецю CO в надмірному циркулюючому газі, що скидається, становив 65 г/нм^3 (65000 мг/нм^3). Це обумовлено низьким фактичним навантаженням блоків УСГК. При рекомендованому ДП «ГИПРОКОКС» вмісті $\text{CO} = 10,4\%$ в циркулюючих газах цей показчик може становити до 130 г/нм^3 (130000 мг/нм^3).

2. Результати промислових випробувань підтверджують ефективність та правильність прийнятих рішень по схемі та конструктивному виконанню вузла утилізації по знешкодженню надлишкових циркулюючих газів УСГК.

3. Розроблена технологія утилізації надлишкових циркулюючих газів дозволяє суттєво знизити концентрацію CO . Вміст оксиду вуглецю CO видіхдних газах становить до $331,7 \text{ мг/нм}^3$ (масова концентрація приведена до нормальних умов та $\alpha = 1$). При цьому секундний викид CO у газах, що йдуть від котла-утилізатора, становить до $1,22 \text{ г/сек}$ (до $38,6 \text{ т/рік}$).

4. Протягом випробувань досягнуто проєктні енергетичні параметри перегрітої пари (39 кгс/см^2 , $440 \text{ }^\circ\text{C}$) від котла-утилізатора. Температура відхидних газів (після котла-утилізатора) складала до $185 \text{ }^\circ\text{C}$. Фактичний ККД – $76,4\text{--}83,7\%$. Вироблена перегріта пара направлялась в міжцехові паропроводи, і далі в машинний зал, де використовувалася для видобутку електричної енергії.

Утилізація надлишкового циркулюючого газу шляхом доспалювання його в спеціальному котлі-утилізаторі з додаванням коксового газу може бути рекомендована як екологічний та енергозберігаючий захід для застосування в

нових проектах по будівництву УСГК і для дообладнання існуючих УСГК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Абдуллин С. Ю., Качура А. А. Повышение энергоэффективности коксохимического производства. // Вуглехімічний журнал №3 – 2019 – С. 47–52.
2. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 4. Электроснабжение. Обеспечение энергетическими ресурсами. Автоматизация управления технологическими процессами. Технологический контроль коксохимического производства / Под общ. ред. В. И. Рудьки, Л. Н. Борисова. – Харьков: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2015.– 480 с.
3. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2013.
4. Давидзон Р. И. Мастер установки сухого тушения кокса. – М.:Металлургия, 1980. – 124 с.
5. Теплицкий М. Г., Гордон И. З. Сухое тушение кокса. – М.: Металлургия, 1971. – 305 с.
6. Soft sensor development for improving economic efficiency of the coke dry quenching process. Jian-Guo Wang, Zhongtao Xie, Yuan Yao, Bang-Hua.
7. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования. М.: Наука, 1971.– 358 с.

УДК 662.995:662.61

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОГАЗОДИНАМІКИ НИЗЬКОЕМІСІЙНОГО
ПАЛЬНИКА ПОТУЖНІСТЮ 75 МВт ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ВУГІЛЛЯ
МАРКИ Г**

^{1,2}Кобзар С. Г., к.т.н., с.н.с; ¹Халатов А. А., д.т.н., академік НАНУ

1 – Інститут технічної теплофізики НАН України

2 – Інститут теплоенергетичних технологій НАН України

**THE STUDY OF THE THERMOGAS DYNAMICS OF A LOW-EMISSION
BURNER WITH A CAPACITY OF 75 MW FOR BITUMINOUS COAL
COMBUSTION**

^{1,2}Kobzar S., PhD, Senior Researcher; ¹Khalatov A., ScD, Acad. of the NASU

1 – The Institute of Engineering Thermophysics of the NASU

2 – Thermal Energy Technology Institute of the NASU

The concept of a low-emission burner for TPP 312 coal boiler was proposed. This