

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»
Казахський національний технічний університет ім.
К.І. Сатпаєва



**МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**



ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ

III Міжнародна науково-практична конференція

Збірник матеріалів

20 травня 2025 року, м. Дрогобич

УДК 502/504
E45

Екологічні проблеми сучасності [Електронний ресурс] : зб. матер. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Дрогобич, 20 травня 2025 р.) / Держ. вищ. навч. заклад «Донецький національний технічний університет». – Дрогобич : ДВНЗ «ДонНТУ», 2025. – 171 с.

У збірнику подано матеріали 3-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми сучасності» за тематикою: техногенна безпека як невід’ємна частина сталого розвитку регіонів України; екологічні аспекти промислових технологій в галузях економіки; ресурсозбереження; науково-практична діяльність в галузі охорони НПС; використання альтернативних джерел енергії.

Відповідальна за випуск:

Костенко В.К. - завідувач кафедри «Природоохоронна діяльність» ДВНЗ «ДонНТУ»

Рецензенти:

Костенко Т.В. д.т.н., професор кафедри пожежної і техногенної безпеки об’єктів та технологій Національного університету цивільного захисту України

Шмандій В.М. д.т.н., професор кафедри «Екологія та біотехнології» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Оргкомітет:

Бахмагамбетова Г.Б. – PhD, старший викладач кафедри «Гірнича справа», Горнометалургійного інституту ім. О.А.Байконурова, Казахського національного технічного університету ім.. К.І. Сатпаєва

Мерзлікін А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», в.о. директора навчально-наукового інституту гірництва та геоінженерії, ДВНЗ «ДонНТУ»

Костенко В.К. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Природоохоронна діяльність», ДВНЗ «ДонНТУ»

Богомаз О.П. – PhD, доцент, доцент кафедри «Гірнича справа» ТОВ ТУ «Метінвест Політехніка»

Кутняшенко О.І. – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Природоохоронна діяльність», заступник директора навчально-наукового інституту гірництва та геоінженерії, ДВНЗ «ДонНТУ»

Таврель М.І. - старший викладач кафедри «Безпека праці та охорона довкілля», ТОВ ТУ «Метінвест Політехніка»

© ДВНЗ «ДонНТУ», 2025

Секція 3. Ресурсозбереження

*Трегубов Д., кандидат технічних наук, Мазуров В.
Національний університет цивільного захисту України, Черкаси,
Україна*

ДРІБНОІМПУЛЬСНЕ МОКРЕ ГАСІННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОКСУ ЯК БІЛЬШ ЕКОЛОГІЧНА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ

Одними з найбільших забруднювачів довкілля в Україні є металургійні комбінати та коксохімічне виробництво у їх складі. Кокс отримують шляхом нагріву шихти з вугілля та з температурою близько 1000 °С виштовхують з печі на повітря, де він починає горіти, що потребує технологічного гасіння мокрим або сухим способом [1, 2]. За мокрим способом кокс охолоджують розбавленою стічною водою до 250 °С із завершенням процесу на рампі [2]. Використання для гасіння фенольних зливів, очищених від смол, зменшує їх обсяг на 30 %. Зрошування проводять 90 с з відстоюванням гасильного вагону 100 с. Якщо видача коксу – 13 т, то на гасіння йде 65 м³ води, з яких 7 м³ – переходить у парову хмару, частина якої випадає дощем. Усереднена температура зливу становить близько 45 °С. При цьому має місце розтріскування, зниження міцності та збільшення адсорбованої вологи куска (1 % по масі), витрати тепла на нагрів цієї вологи у доменній технології, втрата тепла коксування та технічної води, корозія конструкцій, забруднення повітря компонентами стічних вод та сполуками, що синтезуються під час мокрого гасіння. Брудна парова хмара мокрого гасіння може поширюватися на багато кілометрів.

Якщо склад води для гасіння [1, 2], г/л: сульфати – 8,8; летучий аміак – 0,34, зв'язаний – 2,6; хлориди (за Cl) – 4,4; роданіди – 1,2; ціаніди – 0,2, феноли – 0,8; то після гасіння: летучий аміак – 0,07, фенолів – 0,13, H₂S – знижується у 10 разів. Поки кокс розжарений розкладається до 60 % фенолів, до 5 % переходить злив, до 35 % – забруднює повітря; а на стадії завершення гасіння – 10 % / 40 % / 50 %. Вміст домішок у воді для гасіння обмежують, мг/л: смоли та масла – 100, феноли – 150, роданіди – 100, сірководень – 10, відсутність смол, лугів і солей хлорвмісних кислот. За використання стоку після біохімічного очищення склад води наступний, мг/л: феноли – 5, аміак – 82, HCN – 4, H₂S – 8.

Сухе гасіння охолоджує кокс негорючим газом, що запобігає горінню й утилізує тепло коксу [1]. Але окупність технології – 8 років, на заводі залишають установку мокрого гасіння на час ревізії котла-утилізатора,

очищенню підлягають більші обсяги більш забруднених зливів, негорючий газ формують з повітря шляхом продувки крізь гарячий кокс з втратою 3 % його маси, атмосферу забруднює коксовий пил і парникові гази, кокс містить пірогенетичну вологу, що залишає потребу у рампі.

Перспективні завдання для покращення мокрого гасіння коксу наступні: зменшити поширення пароповітряної хмари, викиди в атмосферу, вологість та сернистість коксу, витрати та втрати технічної води, час на відстоювання після гасіння, забезпечити рекуперацію тепла коксу, зберегти міцність кусків.

Технологію мокрого гасіння за механізмом впливу на домішки води можна класифікувати як термохімічну [3]. Спираємось на факт, що вміст HCN, H₂S та SO₂ у парах гасіння стічною та технічною водою є близьким. Малий вміст продуктів розкладання та повного окиснення свідчить про переважний контакт води зі значно остиглим коксом та не ефективне використання розжареної поверхні для деструкції домішок води. Так, вміст роданідів зливі після гасіння зріс, хоча температура їх розкладання – близько 250 °С, то температура коксу більший час контакту була меншою за 250 °С. На розжареній поверхні коксу може йти розкладання деяких сполук, парогазове та слабе рідкофазне окиснення, утворення синтез-газу.

За максимальних температур коксу від 1050 до 700 °С на поверхні кусків може утворюватися синтез-газ: CO – 44%, N₂– 6%, CO₂– 5%, H₂– 45%, CH₄, CS₂, H₂S. Основна реакція: C + H₂O = H₂ + CO – 132 кДж/моль, вторинна: CO+H₂O = CO₂ +H₂. За наявності перегрітої пари синтез-газ формується з 500 °С, а активно – з 650 °С. За реакції 1 молю пари H₂O з поверхнею куска коксу утворюється 2 моля продуктів реакції, що достатньо для роботи турбіни з видобутком електроенергії.

За температур 350–600 °С водень синтез-газу може взаємодіяти з сіркою коксу: H₂ + S = H₂S↑. Можлива реакція сульфідів з водою: Na₂S + H₂O = H₂S + NaOH. Алкани за нагріву реагують з сіркою з утворенням H₂S + C, який потрапляє у шлам та уноситься з парами води. За t ≈ 1000 °С йде реакція: 2S + C = CS₂. SO₂ може виділятися при окисненні сульфідів заліза (продукт корозії заліза під дією H₂S) на повітрі за температур до 800 °С: 4FeS₂ + 11O₂= 2Fe₂O₃ + 8SO₂; та шляхом високотемпературного окиснення: S + O₂ = SO₂.

HCN може бути наслідком рідкофазного окиснення роданідів, але відомо, що ця сполука утворюється й при гасінні чистою водою, а вміст роданідів у зливів після гасіння зростає. Тобто, HCN є результатом взаємодії розжареного карбону з синтез-газом, наприклад, як реакція NH₃ з CH₄ на повітрі на платиновому каталізаторі: NH₃ +CH₄+1,5O₂= HCN+3H₂O; або без повітря за t > 1050 °С: NH₃+CH₄=HCN +3H₂. Роданіди здатні до термодеструкції за t > 250 °С KSCN повільно розкладається KSCN→C₂N₂ + K₂S, ціан дещо менш токсичний ніж HCN та ціаніди:. Ціан може згоряти ціан з утворенням не токсичних продуктів: C₂N₂ + O₂ = 2CO₂ + N₂. Розкладання NH₄SCN починається з 170 °С, NaSCN – з 307 °С.

Парогазове окиснення фенолів потребує t > 800 °С, але за на каталізаторах я температура знижується до 350 °С: C₆H₅OH + 14H₂O = 3H₂O + 6CO₂ + 14H₂. Низькотемпературна реакція фенолів з киснем йде за схемою [4]:

гідроксильовання, утворення хінонів, карбонових оксіхінонів, гумінових кислот, пероксидів, CO_2 і H_2O .

Протікання багатьох з цих реакцій потребує високих температур. За умов мокрого гасіння їх можна забезпечити сповільненням остигання поверхні куска коксу. Замість подавання води в 1 стадію застосовують 2 стадії: спочатку стічну, а з інтервалом 40 с технічну без змін установки гасіння [2]: зростає міцність куска, меншає вміст сірки та вихід шламу. На гасіння 630 кг коксу йде 950 л води, з них стічної 160 л, а 320 л випаровує (33 %). Злив після гасіння містить 3 % залишкових фенолів та 6 % сполук аміаку. Рівномірність охолодження куска надає імпульсна система з часом подавання води 27 с на 1 хв. гасіння [2]. Для гасіння за 2,5 хв. схема «подача-пауза» наступна, с: 20-15, 16-15, 16-17, 16-25, 10-30 (подача води 78 с). Інтенсивність остигання поверхні коксу за гасіння в 1 стадію значно більша, ніж в імпульсному режимі, хоча для середини куска залежність близька. Але дані системи гасіння не враховують режими деструкції домішок стічної води.

Для охолодження лише поверхні достатньо імпульсу подавання води 2 с, при цьому більша частина води випаровує, вода не просочує кокс, меншає кількість тріщин та їх глибина (пара води не розриває структуру), менше поглинається волога, поглиблюється руйнування фенолів, зменшуються крапельні опади.

Пауза між імпульсами подавання води має бути достатньою для запобігання парою вигорання поверхні коксу як флегматизація горіння [5, 6]. Тоді можна розробити режим охолодження коксу без утворення стоку. При цьому час гасіння істотно не зростає, а витрата води зменшиться. Крім того, водяна пара теж має охолоджуючу здатність за рахунок теплоємності. Пропонуємо змінити схему «подача-пауза». Врахуємо, що горіння коксу можливе коли t поверхні $>500^\circ\text{C}$ [7].

Для повної реалізації охолоджувальної здатності вода має пройти 3 стадії [5, 8]: поглинання тепла рідким та паровим станом, витрати на випаровування. Під час гасіння пожеж водою 1-а стадія поглинає 10 % тепла, 2-а (випаровування) – 50 %, 3-я – 40 %. Якщо під час гасіння коксу середня температура стоку – 45°C , а пара встигає нагрітися до 300°C , то 1 кг води поглинає 390 кДж/кг, з яких лише 95 кДж/кг надає вода, що протікла (90 % від поданого обсягу), іншу частину забезпечує вода, що перейшла у пару – 68 % ефективності. Теоретичний відбір тепла водою під час мокрого гасіння – 2988 кДж/кг, тоді 390 кДж/кг – це лише 13 % ефективності. Тому мокре гасіння необхідно організувати так, щоб більша кількість води випарувалася. Це зменшує витрату води та час її подавання у 7,5 рази. Якщо час гасіння в 1 стадію – 120 с, то час імпульсного гасіння без тепловтрат буде 16 с, з втратами – 30 с.

Для охолодження поверхні куска коксу достатній час подачі води – 2 с; до 10 с вирівнюється t поверхні відносно середини куска, зберігається флегматизуюча умова, а пара гріється до t поверхні. Для цих умов у всьому вагоні необхідно збільшити час подачі води або подавати воду й на середні та нижні його рівні. За перші 2 с гасіння t поверхні коксу падає з 950°C на 25°C . Тоді

імпульси «подавання води-пауза» наступні, с: 2-5, 2-6, 2-7, 1-8, 1-9, 1-10, 1-11, 1-12, 1-13, 1-14, 1-15. На 1 хв. можна подавати концентровану стічну воду, на 2 хв. – розбавлену, потім – технічну. За 1 хв. подавання води складе 9 с, на 2 хв. – 4 с, що забезпечує рівномірне охолодження куска без термічних та парових напружень з ліквідацією стоку. За 2 хв. поверхня коксу охолоджується до 450 °С, що забезпечує відсутність горіння, але є можливість самозаймання у купі [5, 8]. На 3 хв. температура коксу не забезпечує руйнування усіх домішок, тоді імпульсне гасіння продовжують як 6 циклів «подача-пауза» 1–15, с (разом 96 с). Загальний час гасіння – 219 с (3,65 хв.), а подавання води – 19 с, усувається потреба відстоювання гасильного вагону. 1-стадійне гасіння з відстоюванням займає близький час – 190 с (3,2 хв.). Надалі кокс скидають на рампу для завершення охолодження, контролю самозаймання, досушування.

Таким чином, розроблена схема імпульсного мокрого гасіння коксу є більш ефективною за багатьма техніко-екологічними параметрами, досягнуто: більшу глибину деструкції домішок стічної води під час гасіння, менші напруження у куску з отриманням більш міцного, менш вологого та з меншим вмістом сірки коксу, менші витрати води й утворення шламу, менше забруднення атмосфери, можливість отримання енергетичного ефекту з використанням тепла коксу і теплоти згоряння синтез-газу, що утворюється на першій стадії запропонованого режиму гасіння.

Список використаної літератури

1. Мирошніченко І.В., Фатенко С.В., Мірошніченко Д.В., Шульга І.В. Розширення сировинної бази коксування та поліпшення властивостей коксу як доменного палива: монографія. Харків–Тернопіль: Крок, 2022. 254 с.
2. Zolotarev I.V., Toryanik E.I., Zhuravskii A.A. Improvement technology of wet quenching of coke (theory and practice). *Coke and chemistry*. 2010. № 8. P. 16–24.
3. Трегубов Д.Г. Деструкція хімічних сполук стічних вод процесу коксування вугілля: дис... канд. техн. наук, 05.17.07 / УДНДІ «УХІН», Харків, 2000. 220 с.
4. Maffei L., Pelucchi M., Faravellia T., Cavallotti C. Theoretical study of sensitive reactions in phenol decomposition. *Reaction Chemistry & Eng.* 2020. №3. P. 452–472.
5. Трегубов Д.Г. та ін. Фізико-хімічні основи розвитку та гасіння пожеж горючих рідин. Харків: НУЦЗ України, 2024. 216 с.
6. Трегубов Д.Г., Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Прогноз ефективності флегматизації горючих систем кисневмісними сумішами. Проблеми пожежної безпеки. 2015. №37. С. 228–234. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3196>
7. Трегубов Д.Г., Тарахно О.В., Жернокльов К.В. Оцінка схильності матеріалів до самозаймання за їх реакційною здатністю. ППБ. 2016. №40. С. 195–200.
8. Трегубов Д.Г., Мінська Н.В., Гапон Ю.К., Тарахно О.В. Теорія процесів горіння, вибуху та пожежогасіння. Харків: НУЦЗ України, 2024. 422с.

<i>Рижов Г.О., Балашев Ю.С., Дідковський Є.В.</i> АНАЛІЗ РИЗИКІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ БУРОВИМИ ШЛАМАМИ	54
СЕКЦІЯ 3. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ	58
<i>Трегубов Д. Мазуров В.</i> ДРІБНОІМПУЛЬСНЕ МОКРЕ ГАСІННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОКСУ ЯК БІЛЬШ ЕКОЛОГІЧНА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ	58
<i>Старжинський П., Прокопенко І., Жукова О.</i> ГЛОБАЛЬНА ПРОБЛЕМА ВИНИКНЕННЯ ДЕФІЦИТУ ПРІСНОЇ ВОДИ	62
<i>Погорелова О.М., Трилів Х.І.</i> РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ОСНОВА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ	65
<i>Андрєєва Л.І., Підкопай М.Ю., Підкопай К.Ю.</i> ПРАВИЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ: ЗНИЖЕННЯ РИЗИКІВ ТА ЗАХИСТ ЖИТТЯ І МАЙНА	66
<i>Ковалів Ю.В., Мазурак О.Т.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОВУГІЛЛЯ ЯК ПРОДУКТУ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ	68
<i>Ящук Л., Лут О.</i> ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ СОРБЕНТІВ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ ІЗ ПРИРОДНИХ ВОД	71
<i>Kozii Ye.</i> RELATIONSHIP BETWEEN CONCENTRATION OF MANGANESE AND GERMANIUM IN THE C7H COAL SEAM OF THE PAVLOHRADSKA MINE OF THE WESTERN DONBAS	73
СЕКЦІЯ 4. НАУКОВО-ПРАКТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА	76
<i>Нестер А.</i> НАПРЯМКИ ДІЯЛЬНОСТІ СПЕЦІАЛІСТІВ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	76
<i>Mislyuk O., Khomenko O., Yehorova O.</i> RISK ASSESSMENT OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN URBAN SOILS	80
<i>Саламаха І., Панас Н., Жилищич Ю., Германович О.</i> ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ НАЦІОНАЛЬНИХ І ЛАНДШАФТНИХ ПАРКІВ ЛЬВІВЩИНИ ЯК ОСНОВА ДЛЯ РЕКРЕАЦІЙНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ	82
<i>Кульчицький-Жигайло І.</i> ВПЛИВ РУБОК ГОЛОВНОГО КОРИСТУВАННЯ НА ГІДРОГРАФІ СТОКУ ПАВОДКІВ З МАЛИХ ВОДОЗБОРІВ У КАРПАТАХ	85
<i>Кузик І.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ, ЯК НАПРЯМ АДАПТАЦІЇ ДО ЗМІН КЛІМАТУ (НА ПРИКЛАДІ БАСЕЙНУ РІЧКИ ГНІЗДЕЧНА)	90
<i>Наконечний І.В., Ряжських О.В.</i> ЗИМОВА ДИНАМІКА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ-ПІДҐРУНТЯ В ЛАНДШАФТНО-РІЗНИХ ДІЛЯНКАХ ВОДОЗБОРУ РІЧКИ БЕРЕЗАНІ	93
<i>Дудин Р., Король І., Мись Я.</i> СТАН НАСАДЖЕНЬ ТА ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ ПАРКУ-ПАМ'ЯТКИ САДОВО-ПАРКОВОГО МИСТЕЦТВА У С. ТАРТАКІВ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	98
<i>Хоменко О., Жицька Л., Папач В., Видра Н., Бондаренко Ю.</i> МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ НА ВМІСТ НІТРАТІВ	101
<i>Заїка Д.С.</i> ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ТА БІОІНДИКАЦІЙНІ МЕТОДИ В СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	104
<i>Таврель М.</i> КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ВОДНИЙ РЕЖИМ СХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ	107
<i>Герасименко Д. О., Мельник О.О., Луценко С. В.</i> ГІДРОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ОДИН ІЗ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СІЛЬСЬКОМУ ЕКОТУРИЗМІ	110
<i>Vakal A.P.</i> SPECIES COMPOSITION OF HIGHER VASCULAR PLANTS NSC «BOTANICAL GARDEN OF SUMSPU NAMED AFTER A. S. MAKARENKO»	113
<i>Мартинюк Є.П.</i> ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД ЗВЕНИГОРОДСЬКОГО РАЙОНУ	115
<i>Скробала В.М., Дулиба О.С.</i> ФАКТОР ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИЕРОЗІЙНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ	116