

account the mass of the explosive charge at its nucleation and formation in the interval up to 0.75 s are established.

**The originality.** The obtained results of the parameters of dust and gas emissions during blasting operations in quarries allow to determine with high accuracy the height of the dust and gas cloud when explosives charges explosively of a specific mass from 10 to 160 tons; The volume of the dust and gas cloud, taking into account its shape; The rate of rise of the dust and gas cloud in the explosion of explosive charges with a mass of 50-100 tons at the stage of its nucleation and formation in the period up to 0.75 s.

**Practical implications.** Drawing on the got results of parameters of dust and gas extrass at explosive works in careers allows to decide the tasks of effective suppression of thermal and dynamic descriptions of dust and gas cloud in the period of his origin, that prevents his flight outside a quarry.

*Keywords: dust and gas cloud, explosion, quarry*

УДК 666.76.001.2

© В.Ю. Тищук

**ВПЛИВ КОКСОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЗАБРУДНЕННЯ  
ПОВІТРЯ РОБОЧИХ ЗОН І РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ЙОГО  
ОЧИЩЕННЯ І ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ПРАЦІ**

© V. Tyshchuk

**THE EFFECT OF COKE-CHEMICAL PROCESSES ON AIR  
POLLUTION OF WORKING ZONES AND DEVELOPMENT  
OF MEANS OF ITS CLEANING AND IMPROVEMENT  
OF WORKING CONDITIONS**

Теоретично та експериментально обґрунтовано використання для нейтралізації шкідливих газів в коксохімічному виробництві розчинів природних речовин – водяних розчинів вуглекислого реагенту для нейтралізації оксидів вуглецю, азоту та сірки, а також у використанні для боротьби з бензапіреном способу опромінення його газових молекул ультрафіолетовим випромінюванням електричного розряду.

Теоретически и экспериментально обосновано использование для нейтрализации вредных газов в коксохимическом производстве растворов природных веществ - водных растворов углекислого реагента для нейтрализации оксидов углерода, азота и серы, а также в использовании для борьбы с бензапиреном способа облучения его газовых молекул ультрафиолетовым излучением электрического разряда.

**Вступ.** Основними джерелами технологічних викидів в повітря робочих зон і атмосферне повітря при коксохімічному виробництві є системи цеху вугледготовки, опалювальна система коксових печей, системи завантаження

вугілля і видачі коксу, системи гасіння коксу, коксові рампи, коксортировка. Окремо при кожному технологічному процесі утворюються характерні забруднюючі речовини. Проте на сьогодні не вирішено питання нейтралізації всього складу забруднюючих речовин, що виділяються в повітря при коксохімічному виробництві.

В зв'язку з цим визначення шляхів нейтралізації окремо кожної забруднюючої речовини є актуальною науковою і технічною задачею, яка пов'язана з виконанням програм по покращенню стану атмосферного повітря, підвищенню якості життя населення, а також безпеки, гігієни праці і виробничого середовища у коксохімічному виробництві.

**Ціль статті.** Розробка ефективних засобів подавлення шкідливих викидів при різних технологічних процесах у коксохімічному виробництві.

Виходячи з цілі, в роботі поставлено наступні завдання.

1. Аналітично і експериментально визначити тип і склад забруднюючих речовин, що виділяються при конкретному технологічному процесі коксохімічного виробництва.

2. Визначити забруднюючі речовини, які необхідно нейтралізувати в першу чергу та розробити засоби їх нейтралізації.

3. Встановити механізм нейтралізуючої дії розроблених засобів та експериментально і аналітично визначити їх ефективність.

**Викладення матеріалу та результати досліджень.** Виконаємо аналіз та охарактеризуємо, згідно наукових праць [1;2], основні цехи коксохімічного виробництва та забруднюючі речовини, що виділяються в них при технологічних процесах.

Коксування - метод переробки вугілля нагріванням при температурах 1000-1200 °С без доступу повітря. Паливо при коксуванні розкладається з утворенням летючих речовин (до 25%) і твердого залишку. Основні продукти коксохімії: кокс кам'яновугільний (76-78%), коксовий газ (14-15%), різні хімічні продукти (5-6%): пил, оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, аміак, фенол, бензол, бензпірен, нафталін, сірководень, ціаністий водень і графіт. В результаті концентрації забруднюючих речовин в повітрі робочих зон коксохімічних цехів в декілька разів перевищують гранично-допустимі концентрації (ГДК). Концентрації по вугільному пилу становлять до 8 ГДК і більше, шкідливих газів до 3-4 ГДК, крім оксиду вуглецю, концентрація якого в ряді випадків в декілька разів перевищує ГДК, яке становить 20 мг/м<sup>3</sup>.

До основних цехів відносяться: вуглепідготовчий, коксівний, уловлювання хімічних продуктів коксування, очищення коксового газу від сірководню, смолоперегінний, ректифікації сирого бензолу, пекококсівний, фталевого ангідрида, цехи тонкої хімії.

Представимо характеристику вуглепідготовчого цеху.

Призначенням вуглепідготовчого цеху - забезпечити прийом, зберігання і підготовку вугільних концентратів для коксування, а також подачу вугільної шихти в коксові печі.

Вуглепідготовчий цех здійснює: прийом і зберігання вугільних концентратів, що поступають на коксування, і усереднення їх по маркам або технологічним групам; дозування вугільних концентратів для отримання шихти заданого марочного складу; дроблення вугільних концентратів і готової шихти; подачу шихти у вугільні башти. У вуглепідготовчих цехах з вугілля, призначеного для коксування, готується вугільна шихта заданої якості. При цьому відповідно до технологічної схеми виконуються наступні операції: прийом, розвантаження і складування вугілля, дозування, дроблення, сепарація і змішення компонентів шихти.

У коксохімічному виробництві основними процесами, пов'язаними з найбільшими викидами в повітря робочих зон і атмосферного повітря, є підготовка шихти, її транспортування, завантаження шихти в камери коксових печей, вивезка гарячого коксу, сортування коксу.

В цеху вуглепідготовки велика кількість пилу (0,4 кг / т вугілля) утворюється при падінні вугілля. Для пиловловлювання доцільно використовувати циклони і мокрі пиловловлювачі - скрубери. Для цього в місцях падіння вугілля споруджуються укриття і аспіраційні системи з пилоочищенням. Для попередження виносу пилу доцільно застосовувати також спосіб змочування шихти розчинами поверхнево-активних речовин, які утворюють на поверхні частинок вугілля плівку, що перешкоджає пилоздіманню.

Наступним етапом є завантаження вугільної шихти з вологістю 7-9% і більше в розпечені коксові печі з температурою стін 1000-1200 °С. Це супроводжується утворенням залпових викидів парогазової суміші у кількості 3-5 м<sup>3</sup>/т шихти. При заповненні холодною та вологою шихтою розпеченого простору печі відбуваються значні виділення пилу і газів, які характеризуються такими даними, г / т коксу: 400 пил; 46 CO; 22 H<sub>2</sub>S; 17NH<sub>3</sub>; 0,6 HCN; 1,1 C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH; 190 C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>; 32 SO<sub>2</sub>; 55 NO<sub>x</sub> [1].

Найбільш ефективним способом боротьби з викидами при цьому є бездимне завантаження шихти, що може широко застосовуватися на коксохімічних заводах. В основі цього способу закладено використання парової або гідравлічної інжекції, що різко скорочує (в 10-15 разів) забруднення повітря. У коксову камеру через завантажувальні люки з бункерів вуглезавантажуючих вагонів подається вугільна шихта. Утворені пилогазовиділення відсмоктують за допомогою парового або гідравлічного інжектора в колектор, по якому газу направляються на газоочищення. В коксових печах відбувається коксування вугілля.

Сучасна коксова батарея - складний теплотехнічний агрегат. Основний технологічний процес протікає в камерах коксування, де вугільна шихта нагрівається без доступу повітря до 1000-1200 °С. При цьому відбувається високотемпературне розкладання вугілля з виділенням газоподібних продуктів і формуванням твердого залишку - коксу. Будучи частиною коксової печі, камера коксування утворюється двома бічними стінами з вогнетривкої цегли.

Продукти згоряння коксового газу, що містять сажу, оксид вуглецю, діоксид сірки, оксиди азоту, бензпірен через димові труби викидаються в атмосферу. Це потребує розробки засобів зниження шкідливих викидів, так як вони по-

падають в повітря робочих зон і в атмосферне повітря навколишнього середовища.

Наступним є процес вивантаження розжареного коксу. Готовий кокс вивантажується в коксовозний вагон строго за визначеним графіком. Видача коксу з камер коксування в гасильний вагон призводить до залпових, протягом 30-40 секунд, газопилових викидів, г / т коксу: 750 пил; 7,6  $\text{H}_2\text{S}$ ; 51  $\text{NH}_3$ ; 0,5  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ; 22  $\text{SO}_2$ ; 3,6  $\text{NO}_x$ ; 36  $\text{C}_n\text{H}_m$ ; 0,1  $\text{HCN}$  [1].

Боротьба з викидами при виштовхуванні коксу з пічних камер - одне з найбільш складних завдань. Над розжареним коксом, що потрапляє в тушительний вагон, виникає інтенсивна висхідна течія нагрітого повітря, яка залучає до руху значні маси навколишнього атмосферного повітря. Цей підсмоктуваний (що ежектується) з атмосфери потік підхоплює ті, що утворюються при руйнуванні коксового пирога частки пилу та газів і здійснює їх догори. Об'єм цих газів складає декількох десятків кубометрів і вони попадають в повітря робочих зон.

Існує декілька варіантів систем бездимної видачі коксу: пиловідсмоктуючі парасольки над коксонаправляючою гасильних вагонів; перекриття над рейковим шляхом гасильного вагону; комбіновані системи бездимної видачі і гасіння коксу.

Найбільше визнання отримали системи з облаштуванням парасольок, відсмоктуванням і очищенням газів видачі. При цьому пиловловлююче устаткування проектується як в пересувному, так і в стаціонарному виконанні. На практиці найчастіше використовуються системи з пересувною парасолькою і стаціонарною системою пиловловлювання. В якості пиловловлювачів застосовують скрубери Вентури, мокрі електрофільтри, тканинні фільтри.

При русі гасильного вагона з вивантаженням з печі палаючим коксівним спеком до установки мокрогасіння, а також саме гасіння коксу водою, в атмосферу виділяються шкідливі запылені гази в кількості, приблизно, 100  $\text{m}^3$  / т коксу. Концентрація окремих забруднювачів в цих газах становить, г /  $\text{m}^3$ : 110 пил; 31  $\text{CO}$ ; 16  $\text{SO}_2$ ; 0,2  $\text{H}_2\text{S}$ ; 2,9  $\text{NO}_x$ ; 70  $\text{C}_n\text{H}_m$  [1].

При мокрому гасінні кокс протягом 60 секунд зрошується водою (0,5  $\text{m}^3$  / т коксу) у гасильній башті, яка обладнана системою трубопроводів і форсунок - розпилювачів. Після зрошення вагон відстоюється 30-50 секунд під гасильною баштою для стоку зайвої води.

Вода стікає у відстійники, звідки насосами знову подається на гасіння. По закінченні стоку води з вагона охолоджений кокс розвантажується на похилу площадку - коксову рампу, на якій витримується протягом 12-15 хв для випаровування води. Об'єм викидів на рампі складає 735  $\text{m}^3$  / т коксу. В них міститься, г / т коксу: 0,3  $\text{H}_2\text{S}$ ; 0,5  $\text{NH}_3$ ; 0,2  $\text{HCN}$ ; 0,2  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ . На коксортуванні виділяється тільки пил в кількості до 700 г / т коксу.

Уловлювання та очищення цих викидів пов'язані з великими труднощами. Існують різні варіанти боротьби з шкідливими викидами. Це великі пересувні укриття над гасильним вагоном, що приєднуються до стаціонарного колектора і газоочисних пристроїв; пересувне аспіраційне укриття, змонтоване на візку в

комплексі з газоочищувальною системою і чіпляється до гасильного вагону; обладнання кожного вагону аспіраційною системою з газоочищенням; спорудження закритої галереї уздовж коксової батареї зі стаціонарним відсмоктувачем і газоочисним обладнанням.

Представлений спектр газових компонентів, що утворюються при коксохімічному виробництві найбільш складно нейтралізувати простими розчинами, наприклад, водою. Кожен тип шкідливого газу потребує свого підходу до його нейтралізації, та відповідно до пошуку оптимального засобу для цього.

В даній роботі розглянуто питання подавлення та нейтралізації оксиду вуглецю, оксидів азоту, діоксиду сірки та бензапірену, які у великій кількості знаходяться в складі коксових газів.

На сьогодні розроблено ряд способів з нейтралізації шкідливих речовин. Проте деякі з них застаріли, а інші нетехнологічні і економічно не вигідні.

В зв'язку з цим розробка нових засобів подавлення шкідливих викидів в коксохімічній промисловості є актуальною науковою і технічною задачею.

Автором розроблено засіб нейтралізації монооксиду вуглецю на основі розчинів вуглелужного реагенту (ВЛР), які можна використовувати в скруберах, мокрих циклонах і для зволоження коксу при мокрому гасінні. Основною складовою ВЛР є гумінові кислоти. Теоретична основа використання ВЛР для нейтралізації монооксиду вуглецю базується на положеннях викладених в роботі [3], де показано, що на активованому вугіллі відбувається фізична сорбція газів, і при цьому встановлена його здатність поглинати різні гази, незалежно від їх хімічної природи.

Тому автором розроблено і досліджено засіб нейтралізації монооксиду вуглецю - вуглелужний реагент, що містить вуглегумінові комплекси. Так як ВЛР потенційно може забезпечувати високу ефективність пилоподавлення, то було проведено аналітичні дослідження його пилосв'язувальних властивостей. До складу ВЛР входять гумінові кислоти, які утворюються з рослинних залишків у результаті їх окиснення. Механізм фізико-хімічної взаємодії гумінових кислот і пилоподібних частинок гірських порід базується на їхніх складових. При цьому наявність гідроксильних і карбоксильних груп у гумінових кислотах зумовлює їхню здатність взаємодіяти з гідроксильною групою на поверхні пилоподібних частинок порід. Спираючись на положення колоїдної хімії кремнезему та силікатів, можна стверджувати, що відбувається фізико-хімічна взаємодія між карбоксильною групою гумінової кислоти і групою SiOH. Газоподавляючі властивості водяних розчинів ВЛР доведено результатами досліджень які свідчать, що гранична сорбція монооксиду вуглецю на вуглегумінових комплексах досягає 11 мг на 1 г ВЛР. Оптимальні концентрації ВЛР за критерієм технічної та економічної доцільності становлять 1–2 мас. %. Ізотерми адсорбції монооксиду вуглецю на вуглегумінових комплексах, мають максимум, що свідчить про можливість їх обробки з використанням рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра. Результати досліджень кінетичних процесів сорбції CO в часі на складових ВЛР підтвердили його здатність нейтралізувати вказаний газ. При цьому швидкість сорбції пропорційна відношенню площі поверхні сорбенту та його об'єму. От-

же, процес сорбції має гомогенно-гетерофазний характер. Для поглиблення вивчення механізму нейтралізації оксиду вуглецю суспензіями ВЛР проведено оцінювання інтегрального теплового ефекту процесу сорбції газу на компонентах ВЛР. У результаті визначено інтегральну теплоту сорбції монооксиду вуглецю на ВЛР, яка складає  $\Delta H = -167$  кДж/моль. Ураховуючи те, що величина сорбції перевищує значення  $-100$  кДж/моль, можна передбачати, що процес сорбції монооксиду вуглецю є екзотермічним і відбувається за типом хемосорбції, тобто має місце хімічна взаємодія між монооксидом вуглецю та складовими інгредієнтами ВЛР. Фізико-хімічні передумови нейтралізації монооксиду вуглецю розчином ВЛР на підставі відомих хімічних положень можна пояснити такими чинниками. Молекула монооксиду вуглецю, незважаючи на невеликий дипольний момент, має явно виражений полярний характер. Завдяки полярності зв'язку  $C=O^+$  виникає взаємодія молекули монооксиду вуглецю з іонами та полярними групами гуматів натрію (калію), що знаходяться в розчині, і гідроксильними, карбоксильними, фенольними, карбонільними групами, наявність яких у складі гумінових кислот відома. Ця взаємодія має електростатичний характер і за своєю силою наближається до величини ковалентного зв'язку. Отже, відбувається нейтралізація CO вуглелужним реагентом, непрямим підтвердженням можливості чого є той факт, що гумусові речовини, які містяться в ґрунті, поглинають гази, у тому числі й CO, більш енергійно порівняно з іншими ґрунтовими частинками. При цьому основним елементом гумусу є гумінові кислоти, які входять до складу ВЛР. Отже, підтверджено, що адсорбція молекул CO вуглегуміновими комплексами ВЛР підпорядковується класичній теорії сорбції Ленгмюра з подальшим здійсненням між ними реакції хемосорбції, яка забезпечує нейтралізацію монооксиду вуглецю. Результати випробувань свідчать, що ефективність нейтралізації CO складає не менше 63,8 %.

Вперше автором проведено дослідження по нейтралізації оксидів азоту та діоксиду сірки з використанням вуглелужного реагенту. Результати досліджень показали, що ВЛР також є ефективним засобом нейтралізації цих шкідливих газів. Дослідження проводилися на водяних розчинах ВЛР, концентрацій 1-2 мас.% і показали що питома сорбція газів на вуглегумінових комплексах цих розчинах становила 50-70 мг на 1 г ВЛР. Значно більша питома сорбція цих газів в порівнянні монооксидом вуглецю обумовлена тим, що частина газових молекул розчиняється у водяному середовищі розчину, який має лужний показник.

Найбільш небезпечним газом, що утворюється при коксуванні вугілля є бензапірен, який сприяє розвитку онкологічних захворювань у працівників.

За основу нейтралізації бензапірену доцільно прийняти закордонні розробки, що базуються на способі опромінення його газових молекул ультрафіолетовим випромінюванням електричного розряду.

При цьому зниження в газових викидах вмісту бензапірену та інших поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), відбувається шляхом фотоокиснення їх вуглеводнів при опроміненні випромінюванням електричного розряду в інтервалі довжин хвиль 340 - 410 нм з середньою щільністю світлової енергії

$10^{-3} - 3 \cdot 10^{-1}$  Дж /см<sup>2</sup> при робочих температурах від -20 °С до + 80 °С. Випробування проводилися на "сухих" газових викидах, в яких вологість не перевищувала 15%.

Цей спосіб має порівняно низькі енерговитрати за рахунок селективного фотозбудження органічних молекул, що ліквідуються, і частини молекул ПАВ зі спектрами поглинання, що потрапляють в смугу УФ опромінення. При УФ опроміненні молекули ПАВ переходять в збуджений стан з наступним їх переходом, за рахунок зіткнень, в стан з утворенням і напрацюванням кисню, що вступає в реакцію з ПАВ, а також з іншими складові газових викидів, наприклад, з оксидами сірки та азоту і таким чином їх також нейтралізує.

**Висновки.** Коксохімічне виробництво є джерелом інтенсивного забруднення повітря робочих зон та оточуючого середовища пилом та шкідливими газами.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень вперше встановлено, що ефективним засобом поглинання і нейтралізації оксиду вуглецю, оксидів азоту та сірки є водяні розчини вуглелужного реагенту, концентрації 1-2 мас. %.

Для боротьби з бензапіреном доцільне використання способу опромінення його газових молекул ультрафіолетовим випромінюванням електричного розряду в інтервалі довжин хвиль 340 - 410 нм з середньою щільністю світлової енергії  $10^{-3} - 3 \cdot 10^{-1}$  Дж /см<sup>2</sup> при робочих температурах від -20 °С до + 80 °С. При цьому ефективність нейтралізації досягає 35 %.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на поглиблене вивчення нейтралізації інших шкідливих газів водними розчинами ВЛР при різних їх концентраціях і витратах, а також на технології введення розчинів в пилогазову гарячу пару.

Для нейтралізації бензапірену необхідно провести дослідження по підвищенню ефективності нейтралізації за рахунок використання додаткових операцій і нових речовин.

#### Перелік посилань

1. Мищенко И.М. Черная металлургия и охрана окружающей среды: учеб. пособие/ И.М. Мищенко. – Донецк.: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. –150 с.
2. Кауфман А. А. Отечественные и зарубежные коксовые печи: конструкции и оборудование: учеб. пособие/ А. А. Кауфман, Ю. Я. Филоненко. - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. — 88 с.
3. Зелинский Н.Д. Уголь как средство борьбы с удушающими и ядовитыми газами/ Н.Д.Зелинский, В.С.Садиков. – М. – Л.: АН СССР, 1941. – 132 с.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Undertake analytical studies of the influence of coke-chemical processes on the air pollution of working areas with dust and harmful gases. Develop methods for combating harmful emissions in coke-chemical production.

**The methods** of research are theoretical, experimental and the analysis of previously performed researches is represented.

**Findings.** To optimize the suppression of coal dust and harmful gases - carbon monoxide, sulfur oxides and nitrogen, the new means are developed which ensure the neutralization of harmful ingredients due to their physicochemical interaction with the components of dust and harmful gases. Perspective methods for neutralizing benzopyrene are presented. As benzopyrene contributes to the development of cancers of coke plants' workers.

**The originality lies** in the theoretical and experimental justification for the use of solutions of natural compounds for the neutralization of oxides of oxygen, nitrogen and sulfur, as well as in the use, for controlling benzopyrene, of a method for irradiating its gas molecules with the help of an electric discharge of ultraviolet radiation.

**Practical implications.** The theoretical and experimental justification for the use of solutions of natural compounds for the neutralization of oxides of oxygen, nitrogen and sulfur, as well as in the use, for controlling benzopyrene, of a method for irradiating its gas molecules with the help of an electric discharge of ultraviolet radiation. The recommendations of their using in industrial conditions at coke plants are represented.

**Keywords:** *cake and by-product process, atmospheric impurities, aqueous caustic, carbon oxides, foul gas*

УДК. 665.66:614.89

© С.І. Чеберячко, А.В. Яворський, О.О. Яворська

## **ЗАПИЛЕНІСТЬ ПОВІТРЯ ТА РИЗИКИ ВИНИКНЕННЯ ПРОФЕСІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ПРИ КОМБАЙНОВІЙ І СТРУГОВІЙ ВИЙМЦІ ВУГІЛЛЯ**

© S. Cheberiachko, A. Yavors'kyu, O. Yavorska

## **DUSTINESS OF AIR AND RISK OF OCCUPATIONAL DISEASES WHILE SHEARER AND PLOUGH COAL MINING**

Наведено результати досліджень запиленості повітря та рівня професійного ризику виникнення захворювань органів дихання на пилову етіологію у шахтарів при комбайновій і струговій виймці вугілля.

Приведены результаты исследований запыленности воздуха и уровня профессионального риска возникновения заболеваний органов дыхания пылевой этиологии у шахтеров при комбайновой и струговой выемке угля.

**Вступ.** Ситуація стосовно професійних захворювань в Україні є досить складною. В умовах, що не відповідають санітарним нормам, працює близько 70 % шахтарів [1]. Найбільш шкідливі виробничі фактори на робочих місцях гірників – це вугільно-породний пил, шум, вібрація, несприятливий мікроклі-