

Ю. В. Хоха¹
Л. С. Жеребецька¹

СКЛАД ПРОДУКТІВ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК, ЩО МІСТЯТЬ ХЛОР, ФОСФОР ТА СУЛЬФУР

¹Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України

Розглянута проблема накопичення, зберігання та ризиків забруднення навколишнього середовища токсичними хімічними речовинами, що містять хлор, фосфор та сірку, на території України. Надані відомості щодо методів їх знешкодження, які базуються на відновленні. Проведено розрахунок рівноважного складу продуктів знешкодження сполук, які містять сірку, азот, хлор та фосфор, в процесі газифікації вуглеводневої сировини водяною парою. Розрахунок здійснено методом мінімізації енергії Гіббса, діапазон температур 950...1250 °С, тисків — 1...10 бар. Запропоновано метод вилучення шкідливих сполук з продуктів знешкодження. Проведено порівняння методу знешкодження токсичних органічних сполук у процесі газифікації вугілля водяною парою з існуючими технологіями, заснованими на відновленні.

Ключові слова: стійкі органічні забруднювачі, невикористані пестициди, очищення газів, відновлення, знешкодження, газифікація.

Вступ

Ситуація, яка склалась в Україні у сфері поводження з невикористаними пестицидами (НП) внаслідок надмірного їх накопичення, продовжує залишатись критичною, незважаючи на часткове вивезення цих сполук за межі України, яке відбувалось в останні роки. Загалом, питання знешкодження токсичних сполук стоїть ширше і не обмежується лише самими засобами захисту рослин, однак потрапляння останніх за межі складських приміщень виглядає загрозово у порівнянні з іншими токсикантами, з урахування віддалених наслідків їх впливу на біосферу. Утилізації або знешкодженню підлягають заборонені засоби захисту рослин разом із такими, що з різних причин втратили свої властивості або маркування.

Особливу увагу привертають стійкі органічні забруднювачі (СОЗ), а саме так звана «брудна дюжина», в яку входять деякі сполуки класу поліциклічних ароматичних вуглеводнів, поліхлоровані дифеніли, ДДТ та інші [1]. В зв'язку з небезпечними для біосфери властивостями ці сполуки стали предметом обговорення на Стокгольмській конвенції, яку Україна ратифікувала в 2007 році, отже вона стала невід'ємною частиною українського екологічного законодавства.

Значна кількість НП зберігається за межами складів, часто у пошкодженій тарі, де вони перемішуються, окиснюються під дією води та сонця, втрачаючи свої властивості [2]. В зв'язку з такими умовами зберігання сполуки втратили свій початковий хімічний склад, перетворившись на суміш невизначеного хімічного складу, яка потенційно може містити у своєму складі, окрім вуглецю, водню та кисню, галогени, сульфур, азот, фосфор та інші хімічні елементи У цій роботі не розглядаються металоорганічні сполуки, та реагенти, що містять арсен.

Речовини з невідомою хімічною формулою — так звані «хімічні мутанти» є особливо небезпечною групою сполук. Не знаючи початкового складу таких токсикантів, неможливо спрогнозувати, які саме речовини утворюються внаслідок їх перемішування, горіння і наскільки вони шкідливі. У разі неправильного зберігання подібних сумішей можливе їх потрапляння в ґрунти, і далі — в ґрунтові води. Значну небезпеку складатиме самозаймання таких сумішей, коли в атмосферу попадають високотоксичні галогено- та фосфоровмісні речовини

Оптимальним довгостроковим вирішенням цієї проблеми є їх знищення. Зараз загальновизнаним способом знешкодження є спалювання, яке відбувається у спеціальних, призначених для цієї мети печах, оснащених системами видалення небезпечних речовин та сучасним обладнанням для очищення димових газів

Згідно з українським (ДБН.2.4-4:2010) та європейським законодавством (Директива 2000/76/ЄС)

процес спалювання, робочі режими його окремих ланок, та характеристики продуктів суворо регламентовані [3]: температура термічного знешкодження відходів має бути не меншою 850 °С, а за наявності галогеновмісних сполук — не меншою 1200 °С. Важливим також є витримування знешкоджених СО₃ в температурній зоні не менше ніж 3 с, а також значний стехіометричний надлишок кисню повітря, що на порядок зменшує вірогідність утворення високотоксичних сполук із класу діоксинів. Фосфорорганічні відходи потребують дозованої подачі у кількостях, за яких викиди в атмосферу продуктів розкладу в кожному конкретному випадку не перевищують ГДК з урахуванням фонових показників, згідно з вимогами Європейської спільноти.

Ключовим питанням при цьому є очищення димових газів від токсичних газоподібних сполук. Їх повне вилучення, з огляду на наявні технології, є неможливим, однак, якщо гази на виході мають концентрації нижчі за встановлені ГДК, способи очищення газів утилізації (знешкодження) можуть застосовуватися на виробництві.

Одним з вагомих недоліків методу спалювання СО₃ є утворення діоксинів. Токсичність цих сполук така, що навіть кількості, менші за ГДК, можуть нести небезпеку, отже всі сучасні рекомендації [4], вказують на необхідність пошуку інших, відмінних від спалювання, технологій знешкодження галогеновмісних та інших токсичних органічних сполук.

Найдоступнішими та перспективнішими з методів безкисневого знищення СО₃ є такі, що ґрунтуються на відновленні в різних середовищах. Так, термічний метод знешкодження непридатних пестицидів в присутності природного газу гарантує відсутність діоксинів в продуктах реакції, бо процес проходить за достатньо високих температур в газовій фазі за відсутності кисню, що забезпечує повний розклад органічної складової пестицидного препарату [8].

У світовій практиці застосовується технологія знешкодження СО₃ відновленням металічним натрієм — процес має назву SR [9]. Треба зазначити, що вказана технологія застосована у промислових масштабах та є невимогливою до концентрацій хлорорганічних речовин. Процес дехлорування здійснюється перемішуванням реакційної суміші, яка складається з галогеновмісних сполук та металевого натрію у середовищі азоту. Значення коефіцієнта знешкодження (DE) більше 99,999 %, ефективність знищення та видалення (DRE) — 99,9999 %. Проте, технологія SR має значні недоліки, дозволяючи знешкоджувати лише галогеновмісні сполуки — зазвичай трансформаторне масло або конденсаторні поліхлоровані біфеніли та інші речовини, що не можуть містити воду (для запобігання реакції з утворенням вибухової суміші). Побічними продуктами реакції є вода, хлорид натрію, гідроксид натрію та біфеніли, які також потребують утилізації або виділення та очищення для повторного використання.

Для дехлорування також використовують процес каталітичного розкладання (BCD) [9, 10]. Ця технологія розроблена для переробки великих об'ємів відходів, які містять значні концентрації СО₃, таких як ДДТ, ПХБ, діоксини та галогенпохідні фурану. У технологічному процесі СО₃ нагрівають до 300...350 °С у водневому середовищі при нормальному тиску та за наявності суміші вуглеводнів, що мають високу температуру кипіння, гідроксиду натрію та каталізатора. Під час нагрівання утворюється атомарний водень, який є дехлоруючим реагентом. Ця технологія дозволяє утилізувати до 20 тонн твердих відходів за годину. До недоліків цієї технології слід віднести потребу у каталізаторі, зазвичай платиново-родієвому, який потребує регенерації з немінучими втратами, є дорогим та дуже чутливим до сполук сірки. Також проблематичною з огляду на енергоємність та матеріаломісткість є ланка генерації водню.

Одною з найперспективніших методик відновлення галогеновмісних сполук сьогодні вважають хімічне відновлення у газовій фазі (GPCR) [9,10]. Ця методика є подібною до запропонованої. Технологія GPCR забезпечує найкращі результати серед всіх відомих зараз способів знешкодження СО₃, які відмінні від спалювання. Вона використовується в промислових масштабах вже десять років. В процесі GPCR деструкція СО₃ відбувається в розрідженому газовому середовищі під час реакції газо-фазного термохімічного відновлення воднем у діапазоні температур 800...900 °С. Значення коефіцієнта знешкодження (DE) більше 99,999 %, для деяких сполук воно досягало 99,9999 %. Слід звернути увагу на необхідність створення розрідження в реакторі GPCR. Незважаючи на нескладність самого процесу, його апаратне оформлення вказує на те, що це технологія періодичної дії. Беззаперечно, виникають і проблеми з нагріванням суміші в реакторі, з урахуванням тиску, меншого за нормальний.

Таким чином, вищезазначені, випробувані на практиці технології знешкодження НП у відновному середовищі, мають певні недоліки та обмеження, основними з яких ми вважаємо високу вартість обладнання і реактивів (або каталізаторів) та обмеження в номенклатурі, агрегатному

стані або концентраціях токсикантів, що підлягають знешкодженню. З урахуванням нестачі коштів в Україні для реалізації масштабних, вартісних проектів знешкодження НП та інших токсичних органічних речовин, що містять хлор, фосфор, сірку та азот, треба зосередити увагу на пошуку недорогих та ефективних рішень з використанням вже наявного або відомого і недорогого обладнання та мінімуму простих реагентів.

Розглядаючи відомі способи створення відновного середовища, автори звернули увагу на процес газифікації вугілля (та іншої вуглецевмісної сировини) водяною парою. Цей процес відбувається за умов відсутності кисню повітря, а основними продуктами реакції є H_2 та CO . Також серед продуктів газифікації фіксують CH_4 , CO_2 і залишок H_2O , що не вступив в реакцію. Газифікація вугілля водяною парою відбувається за високих температур (більших $980\text{ }^\circ\text{C}$) та помірних тисків. Такі термобаричні умови та хімічний склад середовища потенційно сприятливі для реакцій деструкції високомолекулярних органічних сполук. На нашу думку, основним реагентом-відновником виступатиме атомарний водень, утворений *in situ* та окис карбону (II). Огляд літератури, що висвітлює проблему знешкодження токсичних органічних сполук у відновному середовищі показав, що процес спільної газифікації вугілля та токсичних органічних сполук водяною парою не розглядався раніше, як альтернатива відомим способам SR, BCD, GPCR та інші.

Мета роботи. Розрахувати склад продуктів знешкодження органічних сполук, що містять хлор, сульфур, азот та фосфор у відновному середовищі, яке утворюється під час газифікації вугілля водяною парою, в стані термодинамічної рівноваги в технологічно доцільних межах тисків та температур. За отриманими даними вибрати метод вилучення цих продуктів з газів та проаналізувати можливості використання цього процесу за спільного термічного знешкодження потенційних CO_3 .

Проведення розрахунку. Для визначення складу продуктів знешкодження відібрані компоненти системи, які можуть бути стабільними за умов проведення процесу газифікації вугілля водяною парою. У розрахункову систему введені: N_2 , H_2 , S, CH_4 , оксиди карбону (II, IV), C (тверда фаза), H_2O , PH_3 , P, H_2S , COS, CS_2 , HCN, Cl_2 , HCl, NH_3 , CH_3Cl , $CHCl_3$, CCl_4 , CH_3OH , CH_2O , CH_3SH , CH_3NH_2 та деякі оксигеновмісні, сульфурвмісні та нітрогеновмісні сполуки, такі як ацетон, ацетальдегід, етанол, фуран, тіофен, етилмеркаптан, піррол, піридин і т.п. У якості високомолекулярних органічних сполук, що містять хлор, сульфур, азот та фосфор вибрані: нікотинова кислота, сульфолан: тетрагідротіофен-1,1-диоксид та біс(2-хлоретил)-2-хлоретилфосфонат.

Розрахунок складу системи в стані термодинамічної рівноваги проведено в температурному інтервалі $950\text{...}1250\text{ }^\circ\text{C}$ (з кроком в 50 °), при тиску 1, 3, 5, та 10 бар методом мінімізації енергії Гіббса. Обчислення проводились на пробній (evaluation) безкоштовній версії пакету програмного забезпечення для хімічної індустрії CHEMCAD виробництва Chemstations™.

Вихідні дані: витрати нікотинової кислоти, тетрагідротіофен-1,1-диоксиду та біс(2-хлоретил)-2-хлоретилфосфонату — 1 кмоль/год, твердий вуглець в надлишку, витрати води — 10 кмоль/год. Симуляція проведена у т. з. «реакторі Гіббса» (Gibbs Free Energy Reactor), який застосовується у вищезазначеному програмному пакеті для визначення теплового і матеріального балансів технологічних процесів. Вплив тиску враховувався рівнянням стану Соаве-Редліха-Квонга (Soave-Redlich-Kwong).

Результати дослідження

За результатами розрахунку встановлено, що в продуктах високотемпературної деструкції нікотинової кислоти, тетрагідротіофен-1,1-диоксиду та біс(2-хлоретил)-2-хлоретилфосфонату, окрім очікуваних метану, водню, оксидів карбону (II, IV) наявні низькомолекулярні сполуки, що містять хлор, азот, сульфур та фосфор а також сліди формальдегіду.

Сірковмісні продукти знешкодження представлені такими сполуками, як: сульфур, сірководень, дисульфід карбону, окисульфід карбону та слідами метилмеркаптану. Виходи перших чотирьох речовин в залежності від температури показані на рис. 1.

Як впливає з рис. 1, вихід відновленої сірки у продуктах знешкодження токсичної речовини невизначеного складу суттєво залежить від зміни тиску. З підвищенням тиску він зменшується; натомість на вміст сірководню, дисульфиду карбону та, особливо, окисульфиду карбону більше впливає температура. Відновлена сірка, дисульфід та окисульфід карбону присутні в продуктах реакції у незначних кількостях, основним компонентом є сірководень.

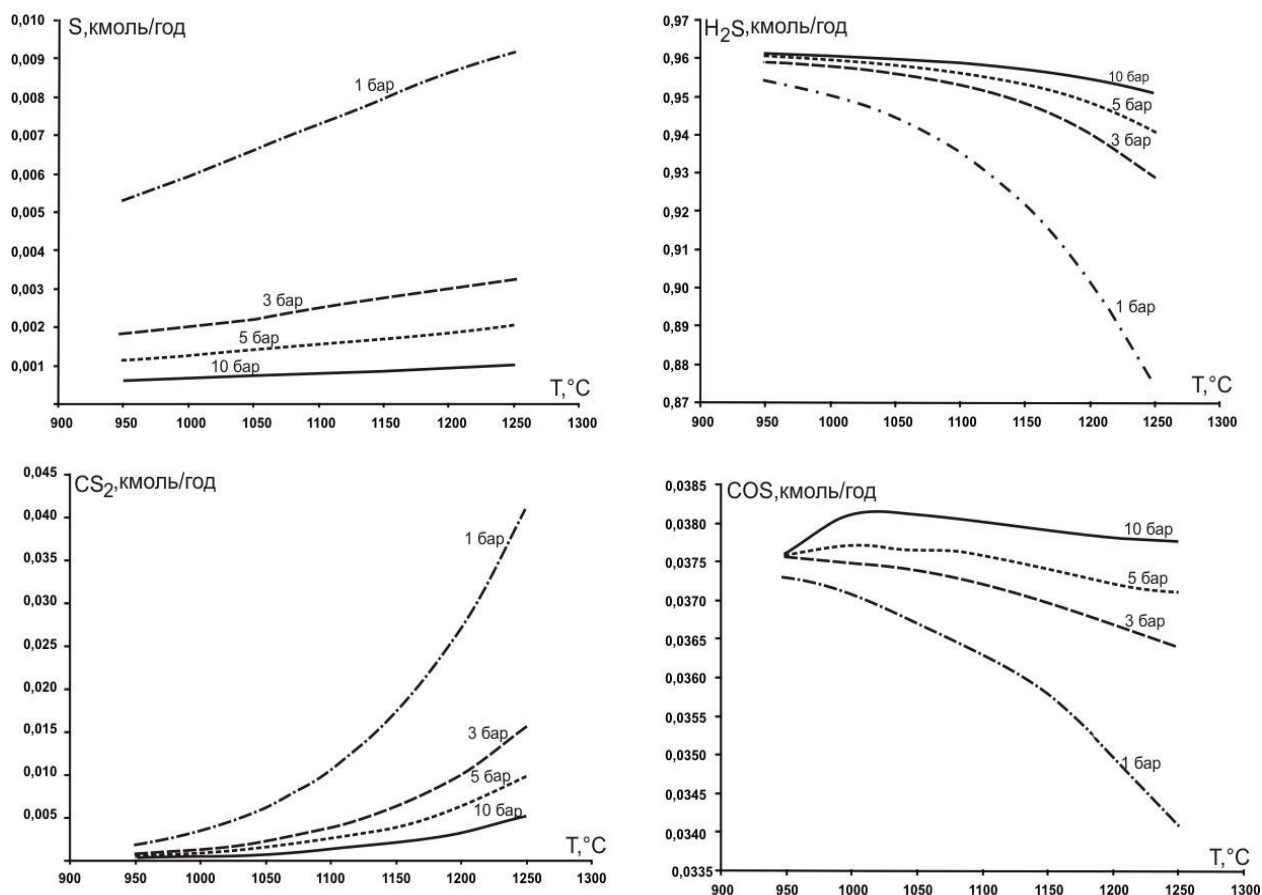


Рис. 1. Залежність виходу сірковмісних продуктів знешкодження від температури при спільній газифікації вугілля та CO₂

Цілком очікувано (рис. 2), що вміст метану у продуктах знешкодження збільшується з підвищенням тиску та зменшується зі зростанням температури. Збільшення вмісту метану в продуктах було б корисним з погляду на можливість спалювання газів знешкодження (після очистки від токсичних компонентів) для одержання теплової енергії.

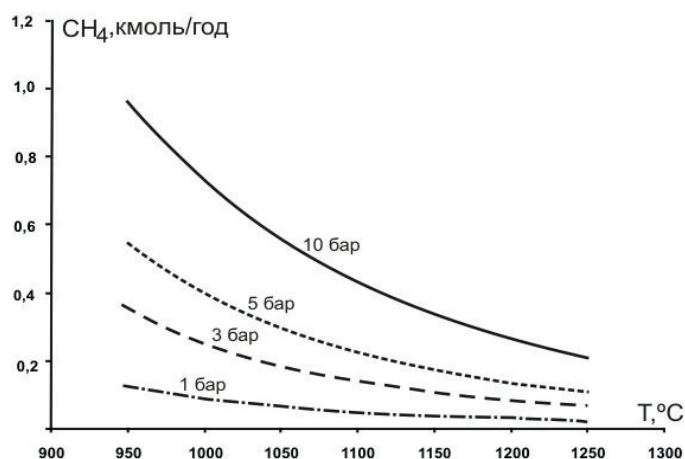


Рис. 2. Залежність виходу метану від температури при спільній газифікації вугілля та CO₂

Частина продуктів знешкодження представлена сполуками фосфору: відновленим фосфором та фосфіном. Характер зміни їх вмісту від температури та тиску показано на рис. 3.

Кількість фосфіну в продуктах реакції є незначною та зростає з підвищенням тиску. Як зазначалося раніше [5, 6], фосфін є дуже шкідливою сполукою, яку досить важко вилучити з одержаних

газів, які залишаються в результаті знешкодження фосфорорганічних сполук, тому треба спрямувати зусилля на зменшення його вмісту.

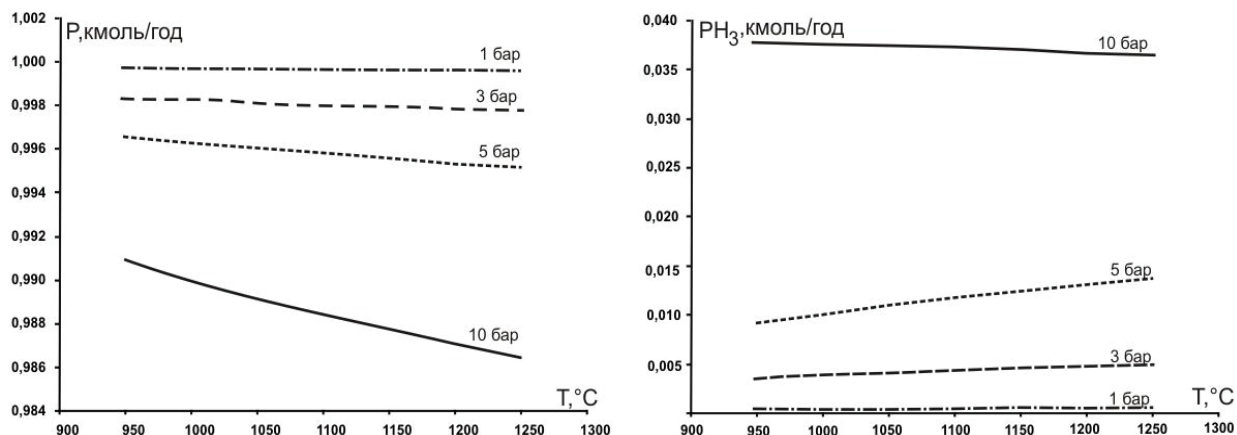


Рис. 3. Залежність виходу фосфоровмісних сполук від температури при спільній газифікації вугілля та СО₂

Із нітрогеновмісних сполук в продуктах знешкодження наявні: ціанистоводнева кислота, аміак та нітроген (рис. 4).

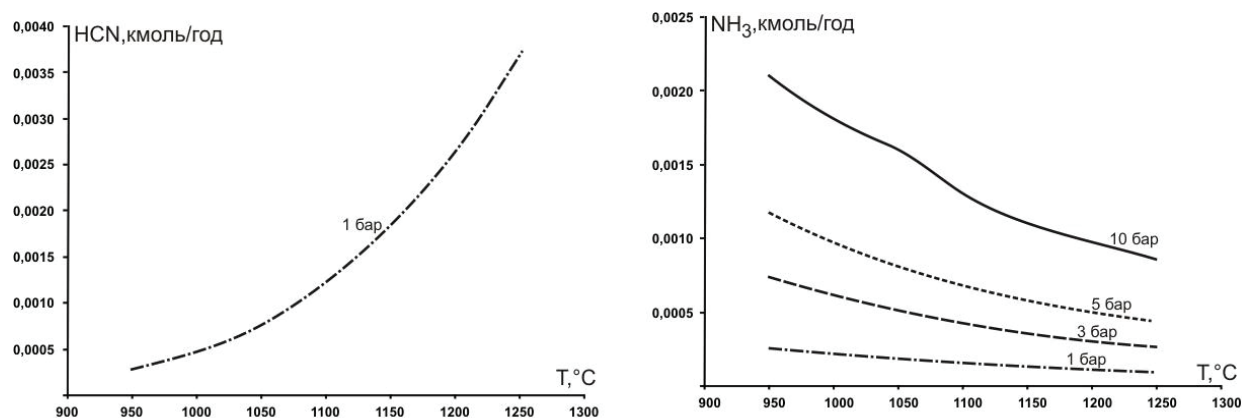


Рис. 4. Залежність виходу нітрогеновмісних сполук від температури при спільній газифікації вугілля та СО₂

Вміст ціанистоводневої кислоти мало залежить від тиску в системі, проте вплив температури є відчутним — зі збільшенням температури зростає і вихід цієї високотоксичної сполуки. Кількість аміаку суттєво залежить від тиску. На рис. 4 бачимо чітку тенденцію до зростання його концентрації зі збільшенням тиску.

Вибір методу очищення продуктів знешкодження

Очистка газів знешкодження СО₂, які містять сполуки фосфору, хлору, сульфуру та нітрогену, є складною технологічною задачею. Для пошуку найкращого рішення проведено аналіз фундаментального звіту компанії Kellogg Rust Synfuels, Inc. — «Advanced coal gasification technical analyses», виконаного на замовлення Gas Research Institute, Chicago [7]. Особливу увагу приділено четвертому додатку, який висвітлює методи очищення газів (у т. ч. газифікації) від численних домішок, що вкрай важливо при одержанні синтетичного палива та інших сполук, з огляду на чутливість традиційних каталізаторів до таких домішок.

Найлегше з продуктів видаляються галогеноводневі кислоти. Враховуючи їх фізико-хімічні властивості, може бути запропоновано використання скруберного зрошення розчином карбонатів, що широко використовується в хімічній технології. Лабораторні дослідження показують дуже високий ступінь вилучення галогеноводневих кислот з газу таким способом.

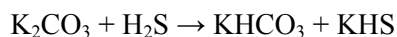
У промисловості існує багато різних способів очищення газів газифікації, що містять сполуки сульфуру та нітрогену. З сульфуровмісних сполук найбільш небезпечними продуктами процесу газифікації є сірководень, окисульфід карбону та дисульфід карбону. З нітрогеновмісних — в першу чергу це синильна кислота, а також аміак. З фосфоровмісних небезпеку несе фосфін. Прак-

тично усі продукти знешкодження, окрім оксиду вуглецю (II), водню та метану, мають бути вилучені із газової суміші.

Автори зупинили свою увагу на методі BENFIELD, розробленому фірмою Union Carbide Corporation на початку 1950-х років. Суть методу полягає в хімічному зв'язуванні сульфур- та нітрогеновмісних домішок карбонатом калію (K_2CO_3), який використовується як розчинник для видалення кислих газів (CO_2 , H_2S , COS) та інших продуктів з газових потоків у різноманітних технологічних схемах. Він знайшов широке застосування для очистки газів на таких виробництвах, як синтез аміаку, одержання водню, одержання зрідженого газу, газифікації вугілля тощо.

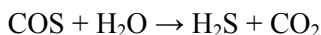
Існує чотири основні технологічні схеми цього методу. Розглянуто технологічний процес одноступеневої очистки, як найменш витратний та матеріаломісткий. Зазначимо, що, хоча фірмою Union Carbide Corporation ведеться постійне вдосконалення методу BENFIELD, воно в основному спрямоване на зменшення енергозатрат. Хімізм процесу залишається однаковим в усіх технологічних схемах.

Під час проведення очищення способом BENFIELD відбувається низка реакцій. Поглинання CO_2 і H_2S показано реакціями



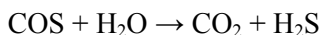
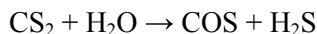
Оскільки сірководень більш розчинний у порівнянні з вуглекислим газом, ступінь його поглинання значно вища. За вибіркового вилучення сірководню, його вміст у кінцевому продукті складатиме десятки долі відсотка. Якщо ж ставити за мету одночасне вилучення вуглекислого газу, то ступінь очищення від H_2S складатиме 90...98 %, за умови, що поглинання CO_2 обмежується від 10 до 40 %.

Сірковуглець, окисульфід вуглецю, меркаптани та тіофен поглинаються в інший спосіб. Так, окисульфід вуглецю спочатку гідролізується водою до сірководню.



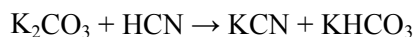
Ступінь гідролізу сильно залежить від температури, хоча є меншим у порівнянні зі ступенем поглинання вуглекислого газу. Очищення продуктів від COS проходить до десятих відсотка (1 ppm), так само як і для сірководню.

Сірковуглець, гідролізується у дві стадії



Таким чином, враховуючи двостадійність процесу, ступінь поглинання (очищення) газів від сірковуглецю менший порівняно із окисульфідом вуглецю.

За результатами розрахунків, у газі знешкодження може міститись аміак та цианистоводнева кислота. В документації до процесу BENFIELD зазначається, що вони також вилучаються гарячим розчином карбонату калію. Вказано, що ступінь абсорбції аміаку у зазначеному середовищі є високим, однак концентрація до насичення є незначною. Ступінь вилучення буде залежати від концентрації аміаку в газі, що потребує додаткового вивчення. Цианистоводнева кислота HCN реагує з карбонатом калію за такою схемою:



Очікується, що коефіцієнт вилучення синильної кислоти буде аналогічним до сірководню, тобто високим. Так само, як і для аміаку, це питання вимагає додаткового вивчення.

Найнебезпечнішим продуктом, що утворюється в процесі знешкодження гетероатомної сполуки невідомого складу, можна вважати також фосфін. На жаль, він характеризується найменшим коефіцієнтом вилучення при застосуванні традиційних технологій. Треба зазначити, що гази, які залишаються після вузла конденсації, на переважній більшості фосфорних заводів спалюються на «свічці», що є на сьогодні допустимим технічним рішенням.

Висновки

1. Результати визначення складу продуктів спільної газифікації вугілля та органічних сполук подібних до CO_3 , що містять хлор, сульфур, фосфор та нітроген, водяною парою, у стані термодинамічної рівноваги показують, що утворювані продукти є відносно нетоксичними, а ті

з них, що становлять небезпеку для навколишнього середовища та людей, утворюються в незначних кількостях.

2. Для очищення продуктів газифікації від небезпечних складових можна застосувати відомий метод BENFIELD, який дозволить ефективно і повною мірою вилучити всі небезпечні сполуки, за винятком фосфіну. Останній можна спалювати на «свічці», з огляду на його незначну кількість та не перевищення при цьому існуючих ГДК.

3. Потенційні переваги запропонованого методу у порівнянні з відомими способами знешкодження CO₂, що ґрунтуються на відновленні, такі:

— метод не потребує організації окремої ланки генерування водню, як у процесах GPCR та BCD, адже активний атомарний водень утворюється під час газифікації;

— для його реалізації можуть бути застосовані відомі традиційні газифікатори типу «Лургі» з незначними конструктивними змінами;

— метод не потребує наявності каталізатора та вартісних реагентів, також немає потреби у створенні захисної атмосфери, як у процесі SR, або розрідження, подібно до GPCR;

— після очищення газів знешкодження отримуємо паливо достатньо високої калорійності, яке можна використати для виробництва теплової енергії.

Вказані переваги можуть суттєво знизити вартість утилізації одиниці CO₂ та спростити технологічну схему, що, у свою чергу, підвищить регульованість процесу, економічність та рівень безпеки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі / ВР України, додаток до Закону України «Про ратифікацію Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі». — Режим доступу : http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/995_a07 (19.01.15). — Назва з екрану.
2. Отчет по проекту: Управление обращением с химическими веществами и осуществление СПМРХВ в Украине в 2006—2008 гг. [Электронный ресурс]. — 2009. — 78 с. — Режим доступа : <http://do.gendocs.ru/docs/index-164043.html> (19.01.15). — Название с экрана.
3. Проектування. Полігони зі знешкодження та захоронення токсичних відходів : ДБН В.2.4-4:2010 — Офіц. вид. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. — Київ : 2010. — 32 с.
4. Appropriate Technologies for the Treatment of Scheduled Wastes [Електронний ресурс] / Review Report Number 4 — CMPS&F — Environment Australia, 1997. — Режим доступу : <http://www.environment.gov.au/archive/settlements/publications/chemicals/scheduled-waste/swtt/index.html> (19.01.15). — Назва з екрану.
5. Сучасні екологічно чисті технології знезараження непридатних пестицидів / [В. Г. Петрук, О. Г. Яворська, І. В. Васильківський та ін.]; за ред. В. Г. Петрука. — Вінниця : «Універсум-Вінниця», 2003. — 253 с.
6. Review of Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries [Електронний ресурс] / The University of Auckland, 2004. — Режим доступу : http://archive.basel.int/techmatters/review_pop_feb04.pdf (19.01.15). — Назва з екрану.
7. Reference Guide to Non-combustion Technologies for Remediation of Persistent Organic Pollutants in Soil, Second Edition [Електронний ресурс] / EPA. — 2010. — 103 с. — Режим доступу : <http://nepis.epa.gov/> (19.01.15). — Назва з екрану.
8. Знешкодження фосфоромісних органічних сполук у відновному середовищі, як альтернатива спалюванню / Ю. В. Хоха, Л. С. Жеребецька, О. В. Любчак // Екологія і природокористування. — 2013. — Випуск 17. — С. 163—168.
9. Очистка газов в производстве фосфора и фосфорных удобрений / под ред. Э. Я. Тарата. — Ленинград : Химия, 1979. — 208 с.
10. Advanced Coal Gasification Technical Analyses. Appendix 4. — 1986. — С. 298—409 / [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.fischer-tropsch.org/DOE/DOE_reports/GRI/gri-86_0009-1/86_0009-1, Part 4, Pages 298 — 409.pdf.

Рекомендована кафедрою хімії та хімічної технології ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 9.02.2015

Хоха Юрій Володимирович — канд. геолог. наук, старший науковий співробітник відділу проблем геотехнології горючих копалин, e-mail: khoха_yury@ukr.net;

Жеребецька Леся Степанівна — інженер відділу проблем геотехнології горючих копалин.

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів

Yu. V. Khokha¹
L. S. Zherebetska¹

Composition of products of hyperthermal reductin of organic compound, which contain chlorine, phosphorus and sulfur

¹Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine

There has been considered the problem of accumulation, storage and risks of contamination of environment by toxic chemicals which contain chlorine, phosphorus and sulphur, on the territory of Ukraine. The methods of their neutralization based on renewal are analyzed. There has been conducted the calculation of equilibrium composition of compounds of neutralization of chemicals containing sulphur, nitrogen, chlorine and phosphorus, in the process of gasification of carboniferous raw material by water steam. Calculation is carried out by the Gibbs method of minimization of energy of the temperature range 950...1250 °C, pressures — 1...10 bar. The method of extraction of harmful chemicals from the products of neutralization is offered. There has been carried out the comparison of a method of neutralization of toxic organic compounds in the process of coal gasification by an aqueous steam with existing technologies based on renewal.

Keywords: persistent organic contaminants, not used pesticides, gas-purification, reduction, neutralization, gasification.

Khokha Yuri V. — Cand. Sc. (Geology), Senior Research Assistant of the Department of Problems of Geotechnology of Combustible Minerals, e-mail: khoha_yury@ukr.net;

Zherebetska Lesia S. — Engineer of the Department of Problems of Geotechnology of Combustible Minerals

Ю. В. Хоха¹
Л. С. Жеребецкая¹

Состав продуктов высокотемпературного восстановления органических соединений, содержащих хлор, фосфор и серу

¹Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины

Рассмотрена проблема накопления, хранения и рисков загрязнения окружающей среды токсичными химическими веществами, содержащими хлор, фосфор и серу, на территории Украины. Проанализированы методы их обезвреживания, которые базируются на восстановлении. Проведен расчет равновесного состава продуктов обезвреживания соединений, содержащих серу, азот, хлор и фосфор, в процессе газификации углесодержащего сырья водным паром. Расчет осуществлен методом минимизации энергии Гиббса, диапазон температур 950...1250 °C, давлений — 1...10 бар. Предложен метод извлечения вредных соединений из продуктов обезвреживания. Проведено сравнение метода обезвреживания токсичных органических соединений в процессе газификации угля водным паром с существующими технологиями, основанными на восстановлении.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, неиспользованные пестициды, очищение газов, восстановление, обезвреживание, газификация.

Хоха Юрий Владимирович — канд. геолог. наук, старший научный сотрудник, e-mail: khoha_yury@ukr.net;

Жеребецкая Леся Степановна — инженер отдела проблем геотехнологии горючих ископаемых