

## ЩОДО МОЖЛИВОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА У ЗАМКНЕНОМУ ЦИКЛІ ПІДЗЕМНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА

*Дичковський Р.О., Фальшитинський В.С., Державний ВНЗ «Національний гірничий  
університет», Україна*

*Edgar Cáceres Cabana, Університет Святого Августина, Перу*

Проведено аналіз наявних техніко-технологічних розробок газифікації вугілля з можливістю утилізації відходів гірничого та інших видів виробництва у екологізованому замкненому циклі газогенератора. Запропоновано механізм встановлення матеріально-теплого балансу на основі визнаних аналітичних методів, наявного практичного досвіду та розробленого авторського пакету інформаційних програм. Як теплоносії використовується спалюване вугілля, температура якого за допомогою активізації чи затухання процесу газифікації тримається у промислово-доцільних межах. Органогенні та побутові відходи після спеціальної підготовки утилізуються способом термічного розкладу у самому газогенераторі. Економічна оцінка запропонованих заходів підтверджує доцільність їх впровадження у виробництво на шахтах, із промисловими та забалансовими запасами вугілля, а також на теренах де видобування цієї корисної копалини було завершено.

**Вступ.** Кожна шахта окрім свого прямого призначення із отримання вугілля, іншої енергетичної чи мінеральної сировини є об'єктом, який паралельно виробляє значну кількість корисних та шкідливих супутніх продуктів. Відповідно, гірничодобувні підприємства є джерелами значної кількості відходів, які можуть бути використані як додатковий компонент життєдіяльності людини, або мають бути знешкоджені із максимальним дотриманням екологічності процесу утилізації. Щодо вугледобувних шахт, що ведуть розробку родовищ підземним способом, то до відходів їх діяльності окрім пустої породи відноситься значна кількість мінералізованої води, а також продукти, пов'язані із забезпеченням промислових функцій самої людини.

Крім цього, діяльність вугледобувної шахти супроводжується виділення значних обсягів забрудненого повітря. До складу якого окрім породного та вугільного пилу входять різні гази. Найбільш поширеними з них є метан, вуглекислий газ та окисли азоту. Нині, на шахтах практично не застосовуються технології їх очистки, відлову, сегрегації та подальшого промислового використання чи утилізації.

Іншою важливою складовою гірничодобувної діяльності є те, що шахта являє собою складну систему різних служб, метою роботи яких є отримання кінцевої продукції (у даному випадку вугілля) відповідних якісних і кількісних показників. На ній працює значна кількість робітників та іншого персоналу, які виробляють достатні великі обсяги побутового сміття, яке містить органогенні компоненти, рештки робочого одягу, залишки мастильних матеріалів, палива, гумовмісні продукти та інші предмети, що вийшли з ужитку.

Наявні технології утилізації цих відходів, є вкрай недосконалими і вимагають як наукового обґрунтування так і технікотехнологічно удосконалення. Нині переробка такого сміття передбачає складування його на спеціально відведених площах з подальшим спалюванням.

Утилізація різногенезесних відходів, що утворилися під час гірничодобувної діяльності, на сміттепереробних заводах практично не ведеться. Відповідно, не проводиться вилучення будь-яких корисних компонентів, які можна було б повторно використати для потреб людини. Утворені унаслідок температурної деструкції гази не утилізуються, а стають джерелом додаткового забруднення атмосфери. Піддані термічній дії різногенезесні відходи гірничого та іншого виробництва змінюють свої характеристики та властивості, що ускладнює їх подальшу переробку.

Автори пропонують комплексне вирішення цієї проблеми. Розглядається можливість утилізації відходів гірничого виробництва при застосовуванні технології газифікації вугілля. Причому здійснювати це в екологізованому замкненому циклі підземного газогенератора.

Джерелом теплової енергії для їх розкладання слугуватиме спалюване вугілля, у першу чергу, забалансових чи покинутих запасів. Отримані газові суміші піддаються фільтрації з подальшим використанням для активації чи затухання процесу газифікації. Рідкі та тверді частинки сегрегуються за допомогою спеціальних пристроїв та фільтрів. Отримані шкідливі фенольні, толуольні та інші залишки утилізуються разом із органічними та побутовими відходами безпосередньо у газогенераторі.

**Найважчий досвід утилізації відходів гірничого виробництва.** Основними відходами гірничого виробництва є накопичення значної кількості пустої породи, а також породи, що містить не промислові запаси корисних компонентів. Вони утворюються під час проведення, підтримки, підкріплення підготовчих виробок, підсікання пустих порід в очисних вибоях, не санкціонованих вивалах та в інших аварійних ситуаціях, пов'язаних з газодинамічною та динамічною діяльністю гірського масиву, а також збагаченням вугілля і вилученням не паливних складових із нього на гірничо-збагачувальних фабриках. У результаті, на поверхні утворюються значні породні відвали (терикони), які є джерелами утворення пилу, часто володіють підвищеним радіаційним фоном, самозапалюються і занеочищують атмосферу шкідливими і отруйними газами, є причиною негативної мінералізації води, її просочування у водоносні горизонти та попадання до родючого шару ґрунту. Крім цього, відвали займають значні площі поверхні, відчужуючи терени, що можна було б використати для сільськогосподарської діяльності. Усе це призводить до погіршення екологічної ситуації у гірничодобувних регіонах. В результаті виникають значні негативні прояви, пов'язані із проблемами забезпечення питною водою та із забрудненням родючого земельного шару, що призводить до погіршення здоров'я населення.

Нині передові гірничодобувні європейські країни практично повністю вирішили питання утилізації пустої породи на поверхні. Окремі компанії, що займаються їх переробкою, вилучають як основні так і попутні корисні компоненти. Залишкова пуста порода використовується як підсипний матеріал під дороги, для вирівнювання рельєфу поверхні, баластні добавки в розчини чи бетони та ін. У окремих випадках формуються гористі ландшафти, створюються штучні системи вітрової та сонячної електрогенерації. Шляхи та технікотехнологічні особливості супутньої переробки вилученої на поверхню пустої породи та її промислового застосування, а також переорієнтації діяльності на після гірничих теренах досить детально описано у спеціалізованій літературі [1,2,3 та ін.].

Підземні води, які просочуються через водоносні горизонти у підземні виробки також є значною проблемою. Як відомо, вони дрейфують по гірничих виробках і збираються у водозбірнику зумпфа стовбура. Далі води викачуються на поверхню у спеціально підготовлені відстійники. Тут відбувається її очищення та подальше використання. Найскладнішим процесом є опріснення шахтної води до стандартів питної. З цією метою існують як хімічні так і біологічні способи, які на жаль вимагають значних фінансових затрат для їх реалізації і тому практично не використовуються на шахтах [1,3,4 та ін.].

Рух повітряних мас по гірничих виробках також викликають зміну їх складу. Окрім природних джерел, що забруднюють шахтну атмосферу (метан, вуглекислий газ), також існують техногенні джерела шкідливих газових викидів. До них, у першу чергу, відносяться окисли азоту, які утворюються під час виконання буро вибухових робіт. Усі повітряні маси виносяться на поверхню та викидаються у атмосферу. Нині, лише в окремих випадках, метан вихідного повітряного струменю промислово використовується людиною. Автори статті, як одним із напрямів утилізації газових сумішей, що виходять із шахти, також пропонують використовувати підземну газифікацію вугілля [1,2,5 та ін.].

Суттєву проблему складає комунальне, побутове сміття, а також органічні відходи гірничої та іншої промислової діяльності людини. Фактично, нині не існує єдиного підходу до утилізації цих продуктів. Іншою серйозною проблемою їх утилізації та взагалі усіх техногенних відходів гірничодобувної діяльності є недосконалість екологозахисного законодавства. У цьому напрямі прийнято багато законодавчих актів, що регулюють природозахисні відносини у системі: «шахта – суспільство», проте суттєві розбіжності та

навіть суперечності законодавчих актів створюють підґрунтя для зловживань та формування різних ненормативних відносин при реалізації екологічнобезпечного розвитку цих регіонів. Це ще більше поглиблює достатньо нестабільну ситуацію депресивних територій, на яких шахти працюють, чи завершили свою діяльність. Саме на утилізацію та можливе повторне використання продуктів при переробці різногенезисних відходів направлені дослідження авторів цієї роботи.

**Підготовка органогенних та побутових відходів до утилізації.** Передбачуваний спосіб утилізації комунальних, побутових, органогенних відходів, що утворилися в результаті гірничої та іншої промислової діяльності вимагає розробку відповідних технологічних схем, внесення конструктивних особливостей та застосування нових способів управління процесом кінетики термохімічних реакцій та фізичних швидкостей їх протікання у підземному газогенераторі. Суттєва увага також приділяється способам підготовки самих газогенераторів. Причому, тут грає важливу роль не лише підготовка підземного газогенератора, а також його симуляційне відтворення на поверхні, оскільки основна мета його роботи полягає у деструкційній термічній дії на відходи.

При шахтній підготовці газогенераторів відходи можуть подаватися безпосередньо у реакційний канал по газоподаючій свердловині. Також допускається утворення окремих свердловин, по яких разом із відходами можуть подаватися каталітичні речовини, активатори чи інгібітори процесу газифікації. Техніко-технологічне удосконалення процесу утилізації відходів передбачає формування техногенних порожнин біля залишених цілин вугілля по довжині виймального пласта і їх заповнення згаданим сміттям.

Важливою складовою ефективною переробки згаданих відходів є попередня їх підготовка. Однозначно перед газифікацією їх необхідно розділити згідно якісного складу та геометричних розмірів. На наступному етапі проводиться їх подріблення і створення суміші необхідного консистенції, причому при необхідності до неї додаються горючі добавки (у першу чергу це вугілля чи мазут). Допускається попередній піроліз чи дифузійне насичення азотом (азотування) цих продуктів перед газифікацією.

У результаті такої обробки у продуктах виникають додаткові напруження, що призводять до більш повного їхньої розкладання, а також до попередньої деактивації канцерогенних та отруйних речовин. У залежності від застосованого процесу газифікації утилізацію згаданих відходів можна проводити комбінованим способом без доступу повітря (піроліз) і імпульсним подаванням дуттьової суміші. У результаті це призведе до утворення більш чистого комплексного продукту газифікації.

**Хіміко-фізична основа розкладу вуглеводнів відходів у замкненому циклі підземного газогенератора.** Автори цієї роботи разом із іншими учасниками нашої наукової групи вже мають досвід із утилізації відходів у єдиному замкнутому циклі підземного газогенератора. Ці результати отримали своє відтворення у ряді наукових праць [5-8]. Подальші дослідження дали можливість внести уточнення та доповнення щодо формування кінетики цього процесу, а також розробити фізико-хімічного обґрунтування технології відпрацювання відходів за допомогою СПГВ:

1. Залежно від якісного складу і наявності необхідних горючих чи інших добавок у складі відходів, їх утилізація може бути направлена на повне термічно деструктивне знищення, хоча кращим варіантом є їх перетворення на корисні газові компоненти для подальшого застосування, у т.ч. у замкненому циклі газогенератора.

2. При хімічному перетворенні конденсованої фази, зміна тиску істотно не позначається на рівноважних ступенях перетворення реагентів, що вимагає шукати інші шляхи активізації чи інгібізації процесу газифікації.

3. Фенольні, толуольні та інші отруйні сполуки долучаються до згаданого сміття і подаються у геореактор для подальшого їх термічного розкладання і утилізації; газові рештки вигідної суміші відловлюються спеціальними фільтрами для їх сегрегації та повторного використання.

4. Під час екзотермічної реакції, при неконтрольованому зниженні температури процесу, що призводить до фізичного зниження швидкості протікання хімічних реакцій, виконується активація процесу газифікації, а у межах низького ступеня перетворення реагентів застосовується додаткова циркуляція до повторного термічного розкладання безпосередньо у геореакторі.

5. Підвищення температури у разі екзотермічної реакції призводить до збільшення швидкості не тільки основних, але і побічних реакцій, при цьому селективність процесу газифікації знижується і виникають труднощі із повторним використанням отриманих газових сумішей.

6. Попелозалишок вимивається безпосередньо після завершення газифікації, або дезактивується чи консервується безпосередньо у газогенераторії за допомогою спеціальних сумішей (як правило на глиняній онові).

7. При малій варіативності та тепловому ефекті хімічних реакції, зміна температури істотно не впливає на рівновагу ступені перетворення продуктів, що дає можливість достатньо стабільно проводити утилізацію відходів гірничого виробництва.

8. Каталітична дія окремих хімічних елементів чи сполук дають можливість орієнтувати процес переробки різногенезесних відходів на отримання корисних компонентів і підвищити вміст необхідних технічних чи енергетичних газів без зміни технології самого процесу СПГВ та режимів подачі дуттьових сумішей у робочий прості геореактора, що значно знижує вартість отримання кінцевої продукції.

9. При відсутності над підземним газогенератором глиняних чи інших пластичних порід, що слугуватимуть природними запобіжними екранами, а наявності достатньо тріщинуватих порід, необхідно застосовувати штучну ізоляцію газогенератора за допомогою ін'єкційної подачі у ці породи спеціальних сумішей, які щільно заповнюють утворені тріщини масиву та під дією температури перетворюються на стійкі керамічні субстанції.

10. Перспективним рішенням щодо переробки різногенезесних відходів способом підземної газифікації є розробка нових селективних систем, що забезпечують високу швидкість і селективність самого процесу утилізації.

Руйнівна дія високих температур (900 – 1200 °С) показує, що практично усі згадані відходи будуть повністю утилізовані. Усі хімічні зв'язки будуть розірвані з утворенням радикалів. Це витікає із того, що піролітичне розкладання вуглеводнів вугілля, нафти чи мазуту відбувається при 350-450 °С; розрив зв'язків алкіл-хлору необхідна температура 250-300 °С. Здійснення хімічних перетворень органічних структур відбуваються при температурах – 150-200 °С.

Енергія розриву сполук залежить від природи елементів, які поєднали їх у одній системі та особливостей будови утворюючих радикалів. Чим стабільніше формуються вільні органічні радикали, тим легше відбувається розрив таких зв'язків. Виникнення відцентрових напружень, що взаємно відштовхуються у вихідній групі молекул. Вони займають великі геометричні обсяги, що ще більше сприяє гомолізу зв'язків. Даний вплив особливо добре помітний при розпаді азотосполук та азотомісних відходів. Результати отриманих температур, кінетичні параметри гомолітичного розпаду молекул та кінетичні параметри термолізу азотосполук при монокулярних реакціях гомолізу різних типів наведено у роботі [8].

Якщо в молекулі одночасно відбувається узгоджений гомолізу одних зв'язків і утворення нових зв'язків, то сумарний процес буде енергетично вигіднішим, ніж простий процес гомолізу. Гомолітичний розпад йде з меншою витратою енергії за участю в реакції ще однієї молекули, якщо одночасно з гомолізом одного зв'язку буде забезпечено утворення нової сполуки з участю інших молекул, що знижує сумарні необхідні витрати енергії на їх формування [9].

При переробці усіх згаданих відходів, як і при будь-якому тепловому процесі, важливу роль грає температура займання, (запалення геореактора). При значній теплоємності і малої температуропровідності системи, в якій відбуваються термохімічні процеси, розігрів реакційного середовища грає одним з визначальних складових. Оскільки на етапі виведення

системи на рівень робочих температур, відбувається не повна утилізація згаданих різногенезисних відходах.

Якщо в системі відбувається екзотермічна реакція, то залежність швидкості реакції варто виразити відповідно до закону Арреніуса у вигляді [9,10]:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{v_0 q}{\rho c} e^{-\frac{E}{RT}} - \frac{\alpha(T-T_0) S}{\rho c V},$$

де  $\rho$  - густина реакційної суміші;  $c$  – питома теплоємність;  $e^{-\frac{E}{RT}}$  – фізико-хімічна швидкість реакції;  $q$  – тепловий ефект;  $T_0$  – температура оточуючого середовища;  $\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі від середовища реакційного каналу до оточуючого середовища;  $S$  – площа поверхні ділянки реакційного каналу геореактора;  $V$  – робочий об'єм ділянки реакційного каналу.

Розрахунок температури займання (запуску системи геореактора) можливий при встановленні коефіцієнта теплопередачі  $\alpha$ . Згідно з припущеннями Д.А. Франк-Каменецького, умовою займання ( $\beta$ ) вугілля для циліндричної форми посудини нескінченної довжини, значення показника складе

$$\beta = \frac{v_0 q}{\lambda} \rho^2 \frac{E}{RT_0^2} e^{-\frac{E}{RT_0}} = 2,00$$

Використовуючи такі співвідношення, а також принципи наведені у [9,10] можна розрахувати температуру запалення різного складу речовин. При розкладі різних промислових, комунальних та органічних речовин у газовій фазі, то цей процес у системі підземного газогенератора відбувається за реакціями першого порядку. Відповідно до попередньої форми,  $\beta$  буде знаходитися у межах 1,0 – 1,3. Відповідно, температура запалення  $T_0$  не перевищуватиме 650 – 675 °К. При утилізації відходів методом газифікації в підземних газогенераторах, за рахунок застосування дуттьових сумішей різного складу, різних способів підготовки їх та подачі у геореактор необхідна кількість підведеної теплоти (виділене тепло у результаті горіння вугілля та горючих складових підготовленої суміші відходів) не буде перевищувати 1800 кДж при зміні ентальпії до 2400 кДж. Відповідно, виведення газогенератора на робочу температуру у межах  $T = 900 - 1100$  °С і дія цих температур на згадані відходи дають можливість ефективно їх утилізувати чи переробляти для повторного використання корисних компонентів.

**Техніко технологічна основа та матеріальний баланс.** Для техніко-технологічного обґрунтування утилізації різногенезисних відходів виробництва способом газифікації вугілля у екологічно чистому циклі геореактора, розглянемо схему із додатковою свердловиною, по якій і пропонується подавати згадані відходи до місця переробки (рис. 1). По цій же свердловині пропонується подавати інші хімічні реагенти, які у залежності від протікання процесу газифікації та необхідності управління ним, будуть слугувати активаторами чи інгібіторами. Іншим важливим завданням є переробка різногенезисних відходів з орієнтацією на отримання інших корисних компонентів.

За допомогою спеціальної установки авторами були проведені дослідження щодо можливості утилізації відходів з орієнтацією на отримання різних енергетичних газів. Технічна характеристика та принцип роботи даної установки досить повно описано у роботі [1]. Підготовка відходів проводилася з орієнтацією на усереднені хімічного складу комунального сміття, що виробляється гірничодобувними підприємствами. Як носій теплової енергії було застосовано вугілля енергетичної марки Е, калорійність якого склала. Розпал здійснено формуванням коксового запалу, його розміщенням у реакційному каналі та подаванням повітряної суміші насиченої киснем. Робочі режими газифікації аналізувалися при застосуванням наступних типів дуттьових сумішей: повітряне; насичене киснем до 25 % у пост-реверсному режимі; насичене киснем до 30 % та водяною парою до 20%; а також насичене киснем до 27 % та парою до 15%.

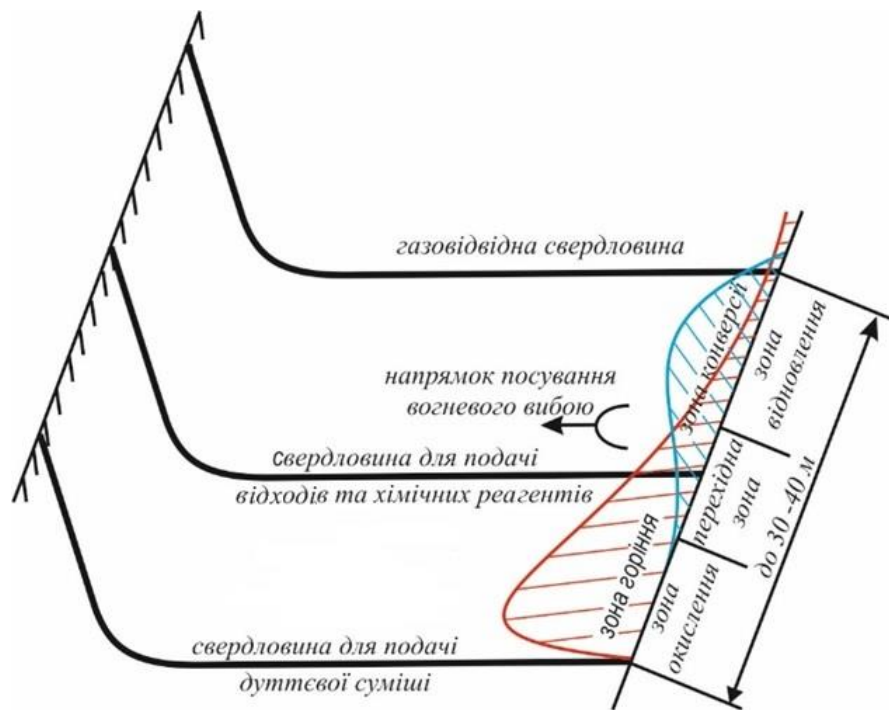


Рис. 1 – Технологічна схема СПГВ із додатковою свердловиною для подачі відходів гірничого виробництва та хімічних реагентів

Окремо були проведені дослідження зміни температури та складу газів вихідного струменя газогенератора (матеріально-тепловий баланс СПГВ) при застосуванні імпульсної подачі повітряних дуттьових сумішей, насиченими киснем на рівні 25 % та водяною парою на рівні 12 %, а також киснем – 25 % та водяною парою – 12 %. Відбір результатів зміни складу отриманих газових складових проводилося за поточною схемою за допомогою приборів ВХ – 170 та Casboard – 3200L і виводилась на екран комп'ютера при використанні відповідного пакету інформаційних програм.

За кожним експериментом було відібрано не менше 50 проб, за характерними точками дослідження та отримано загальні дані щодо можливості отримання генераторних сумішей у складі технічних та енергетичних газів, а також сформовано загальні принципи отримання цих газів для подальшого промислового використання. Отримані результати усередненого складу генераторних газів під час проведених експериментів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Склад генераторних газів під час проведення експерименту

Тип дуття	Компоненти генераторного газу, середні значення за експериментом							Нижня межа теплоти спалювання газу, МДж
	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> +CO+H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	
Розпал	0,98	1,65	1,20	3,83	6,77	77,20	12,20	0,68
Повітряне дуття	3,36	5,65	4,82	13,83	8,48	75,50	2,19	2,43
Дуття, збагачене O <sub>2</sub> – 25 %, пост-реверсний режим	4,09	8,96	8,04	21,09	1,06	74,56	3,29	3,91
Дуття, збагачене O <sub>2</sub> – 30 % і парою 20 %	7,35	6,34	9,05	22,74	1,17	73,30	2,79	4,43
Дуття, збагачене O <sub>2</sub> – 27 % і парою 15 %	6,4	6,9	7,14	20,44	2,09	73,42	4,05	3,14
Дуття, збагачене (імпульсний режим) O <sub>2</sub> – 25 % і парою 12 %	3,13	5,86	5,16	14,15	5,62	75,32	4,91	2,72
Пароповітряне дуття (імпульсний режим) O <sub>2</sub> – 21 %, і парою 10 %	1,09	5,21	2,94	9,24	9,73	76,74	4,29	1,24

Досить часто орієнтація підземної газифікації провадиться на виокремлення метану, оскільки саме цей газ є основним паливним газом, що нині використовується у комунальному господарстві та у хімічній промисловості. Хоча, іншого боку, його отримання як енергетичної сировини у замкненому циклі підземної газифікації є досить складним процесом і ефективність СПГВ не завжди підтверджується економічною доцільністю.

Авторами окремо були проведені дослідження активації процесу за допомогою різних каталізаторів, проте це стосувалося лише газифікації вугілля. Відомо, що підвищення частки метану у вихідній суміші провадиться шляхом застосування каталізаторів у вигляді металів VIII групи періодичної системи Д.О. Менделєєва. У першу чергу це стосується заліза і нікелю із-за його доступності та низької вартості. Авторським колективом [182, 272] було теоретично обґрунтовано цей процес, орієнтуючись на запропоновану нову технологічну схему СПГВ, представлену на рис. 1.

Проведені дослідження підтверджують, що застосування пароводневого дуття дає можливість отримувати замітник природного газу. Проте максимальна концентрація цього газу у вихідній суміші з газогенератора була досягнута на рівні 15 – 20 %. Звичайно, це суттєвий успіх, однак наявність інших горючих газів, причому з варіацією швидкості протікання реакції, вимагає до їх виділення й окремого використання.

Більш важливим є визначення складових елементів синтезу газу із подальшим отриманням хімічної сировини і рідких паливних та мастильних джерел. Відомо, що синтезований газ визначається співвідношенням водню і чадного газу у вихідній суміші підземного газогенератора. Подача у перехідну зону каталізаторів та активаторів призводить до зміни швидкості протікання реакції та збільшення концентрації необхідних горючих газів у вихідному струмені. Корегування зоною конверсії дає можливість проводити орієнтацію генераторного газу на необхідні пальні суміші з мінімальною варіацією складом, режимами і способами подачі дуттьової суміші у вогневий вибір.

Застосування додаткової свердловини для подачі підготовлених відходів, хімічних каталізаторів і реагентів дає можливість збільшити довжину реакційного каналу до 40 м, проте наявність додаткової свердловини призводить до збільшення вартості розкривних та підготовчих робіт. На жаль, даний процес досить складно відтворити на лабораторних чи стендових установках.

**Висновки.** Приведений авторський досвід хімізму розігріву реакційної середовища і отримані результати первинної температурної дії у реакційному каналі підземного газогенератора переконливо доводять про можливість досягнення температури займання промислово-побутових відходів. Окрім відходів вугільних підприємств підземний газогенератор може бути використаний також для утилізації залишків хімічної промисловості, енергетики, медицини та ін., причому як у твердому так і рідкому стані.

Запропоноване техніко-технологічне обґрунтування з утилізації відходів в геореакторних системах на базі СПГУ з орієнтацією на повторне використання корисних компонентів дозволяє отримувати тепло, додаткову енергію та хімічні речовини з вторинних ресурсів, знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище і забезпечити тривалий термін служби підземного газогенератора.

Отримані пальні гази у подальшому використовуються для регуляції процесу газифікації з метою утримання температури в робочих межах. Саме при цих температурах відбувається ефективно та найбільш економічно доцільне перетворення згаданого мусору у попільозалишок. Активація процесу газифікації здійснюється шляхом збільшення концентрації кисню у вхідній суміші газогенератора, а зниження температури – збільшенням вмісту вуглекислого газу у ній.

Отримані авторами результати показують, що при переробці згаданих відходів можливо отримання попутних вторинних корисних компонентів. Для орієнтації на кінцевий продукт важливо застосовувати відповідні каталізатори. Найбільш доцільним є формування сумішей, що містять два пальні гази – водень та чадний газ (синтез газ). Метан також варто залучати до процесу розкладу на згадані гази. Мішанина цих двох газів є основою для подальшого виготовлення рідких палив та мастил. Окремо необхідно формувати технічних газ для

подальшого його використання у хімічній промисловості.

Запропоновані технологічні схеми роботи газогенераторів, та встановлений матеріально-тепловий баланс дають можливість реалізувати на промисловому рівні переробку різногенезисних відходів у екологізованому замкненому циклі. Попередня економічна оцінка [6, 11] показує, що окупність проекту, у залежності від необхідних обсягів та якості утилізації продуктів гірничодобувної діяльності не перевищуватиме 0,8 – 1,9 роки.

Дана робота містить результати досліджень за проектом ГП-489, що виконується на замовлення МОН України.

## Література

1. Табаченко М.М., Самуся В.І., Дичковський Р.О., Фальштинський В.С. (2012). Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла. Д.: Національний гірничий університет. 247 с.  
<http://www.twirpx.com/file/2141251/>
2. Дичковський Р.О. (2013). Наукові засади синтезу технологій видобування вугільних пластів у слабометаморфізованих породах. Видавництво НГУ. 38 с  
[http://scihub.nmu.org.ua/handle/NMUUA\\_2310-8339/132](http://scihub.nmu.org.ua/handle/NMUUA_2310-8339/132)
3. Дичковський Р.О. (2013). Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах. Національний гірничий університет, 262 с.
4. Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Станьчик К., Свядровські Є., Лозинський В.Г. (2010). Обґрунтування технологічних схем експериментального шахтного газогенератора. Науковий вісник Національного гірничого університету. (3). С. 34-38.  
<http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/146951/02.pdf?sequence=1>
5. Півняк Г.Г., Табаченко М.М., Дичковський Р.О. (2013). Про вплив температурних умов на ефективність реакцій відновлення при газифікації вугільних пластів. Розробка родовищ. 331-335.
6. Falsztinskij W.S., Lozinskij W.G. (2010). Ekonomiczne uzasadnienie celowości doszczelniania skał stropowych nad obszarem podziemnego zgazowania węgla metodą otworów wiertniczych. Prace naukowe GIG: Górnictwo i Środowisko, Kwartalnik. 51-59  
<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BSL9-0046-0013/content/partDownload/9cb800de-51d1-3179-891e-4fe63214435f>
7. Пат. №35731 UA, МПК (2006) E21B 43/25. Спосіб підземної газифікації пластів твердого палива / В.І. Бондаренко, В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, М.М. Табаченко, В.Ю. Медяник, В.В. Руських – № 200805265, Заявл. 22.04.2008, Опубл. 10.11.2008 Бюл. №21.
8. Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Светкіна О.Ю.. (2010). Про можливість газифікації технічних та побутових відходів в підземних газогенераторах. Форум гірників–2010: матеріали міжнар. конф. С 176-182.  
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=3806808988043994884&hl=en&oi=scholar>
9. Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. Изд. 3-е, М., Высшая школа. 1974, 414 с.
10. Лавров Н.В. Физико-химические основы горения и газификации топлива. – М.: Металлиздат, 1957.– 40 с.
11. Дичковський Р.О., Фальштинський В.С., Edgar Cáceres Cabana. (2017). Способи регуляції процесу газифікації «непрямих» відходів гірничодобувної діяльності. Бердянськ: Школа підземної розробки. – С. 39 – 41.