

## РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.272.31:622.33

**Маланчук З. Р., д.т.н., професор, Заєць В. В., к.т.н., старший викладач** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), e-mail: v.v.zayets@nwum.edu.ua,  
**Сольвар Л. М., директор, Романчук С. С., заступник директора** (ДВНЗ Червоноградський гірничо-економічний коледж, м. Червоноград)

### ПІДЗЕМНА ГАЗИФІКАЦІЯ ПОКЛАДІВ ВУГІЛЛЯ

**Проаналізовано питання видобування вугілля нетрадиційним методом його підземної газифікації. Означені основні переваги та недоліки методу, його структура та особливості застосування. Встановленні визначальні чинники впливу на процес підземної газифікації.**

***Ключові слова:*** процес газифікації, енергетичні ресурси, вугілля, вугільний пласт.

**Актуальність теми.** Підземна розробка родовищ корисних копалин передбачає, традиційно, видобування корисних копалин з надр Землі. На сьогодні найпоширенішою є розробка твердих копалин у шахтах, на рудниках, під час якої агрегатний стан корисної копалини не змінюється. Ця розробка полягає у розкритті родовища (проведенні капітальних гірничих виробок), підготовці його до експлуатації і веденні видобувних робіт шахтним способом [1].

Останнім часом все частіше застосовують підземну розробку родовищ з частковою або повною зміною агрегатного стану корисних копалин, використовуючи бурові свердловини (підземна сублімація, підземне розчинення, підземне вилуговування, розмивання тощо). Ці способи, по суті, поєднують власне видобуток і збагачення корисних копалин.

Головною умовою застосування геотехнологічних методів є реальна можливість та економічна доцільність переведення корисної копалини під впливом робочих агентів у рухомий стан. Крім цього, необхідно забезпечити можливість подачі робочих агентів до поверхні взаємодії і відведення корисної копалини через свердловини на поверхню.

У зв'язку з тим, що вугілля широко застосовується в різних галузях промисловості і є стратегічною сировиною, постало питання його видобування більш економічно обґрунтованим та екологічно допустимим способом, для ефективного видобування без втрат корисної копалини, та збереженням непорушності земної кори.

Метод підземної газифікації можна віднести до таких способів видобування вугілля в Україні, застосування яких набирає обертів.

Даний спосіб є одним із перспективніших, оскільки вугілля не потрібно добувати під землею, і піднімати його на поверхню. У свій час (1888 р.) Д.І. Менделєєв писав: «Настане, ймовірно, з часом навіть така епоха, що вугілля із землі виймати не будуть, і там, в землі, його зуміють перетворювати на горючі гази і їх по трубах розподілятимуть на далекі відстані». А саме переводити його в гази, що по цінності більш калорійніші ніж вугілля. Щоправда, така технологія недешева. Наприклад, електроенергія, яка продукується з такого вугілля, на 10-20% дорожча від звичайної. Однак, економічна доцільність у газифікації все ж є, вважають експерти, оскільки така технологія дозволить вже за кілька років знизити внутрішній попит на блакитне паливо на 10% і одночасно підвищити споживання вугілля на 10 млн тонн.

При підземній газифікації в процес горіння залучаються вуглевімісні породи в покрівлі та підошві пластів, що розробляються, а також невраховані в балансових запасах породи, які містять вугілля, при спалювання яких з надр додатково виділяється енергія.

Сутність методу підземної газифікації вугілля (ПГВ) полягає в процесі перетворення вугілля на місці його залягання в горючий газ [2].

Основні стадії ПГВ:

- буріння з поверхні землі свердловин у вугільний пласт;
- з'єднання цих свердловин каналами, що проходять у вугільному пласті;
- нагнітання в одні свердловини повітряного або парокисневого дуття;
- отримання з інших свердловин газу.

Насичення газом відбувається в каналі за рахунок хімічної взаємодії вільного і зв'язаного кисню з карбоном і термічного розкладання вугілля.

Вихід, склад і теплота згорання газу, що одержується залежить від складу нагнітаючого елемента, що подається в свердловину, марки вугілля і його складу, геологічних умов залягання пласта, його

потужності і будови. Встановлено, що теплота згорання газу, при повітряному нагнітанні не перевищує 4,4 МДж/м<sup>3</sup>.

При підземній газифікації вугілля основним параметром процесу є інтенсивність процесу газифікації. Вона залежить від ряду факторів, більшість з яких визначається дослідним шляхом.

Відомо, що вугілля складається з органічної горючої маси, мінеральної негорючої маси і вологи. Властивості вугілля залежать від початкового матеріалу, що послужив для його утворення, умов накопичення, хімізму середовища утворення вугілля і ступеня метаморфізму. Горюча маса складається з вуглецю, водню, сірки, азоту та кисню. Негорюча маса – з золи, до складу якої входять кремнезем, оксиди алюмінію, заліза, кальцію, магнію [3].

Під терміном «підземна газифікація вугілля» розуміють процес отримання з вугілля горючого газу, а під терміном «підземний газогенератор» – частину вугільного пласта, в якому ведеться газифікація. Найважливішими елементами підземного газогенератора є канали газифікації, що утворюються вздовж простягання або падіння пласта. У них здійснюється взаємодія кисню, що подається в канали, з твердою фазою (з вугіллям та різними хімічними елементами оточуючих порід). Увійшовши до каналу газифікації, кисень швидко підігрівається. Рухаючись далі, він вступає в реакцію з вуглецем вугілля, утворюючи окис і двоокис вуглецю. Двоокис вуглецю, що утворився, а також водяна пара, що надходить з вугільного пласта і навколишніх порід, рухаються далі по вугільному каналу, омивають його розжарену поверхню і відновлюються вуглецем. При подальшому русі по каналу горючі гази нагрівають вугілля, внаслідок чого відбувається термічне розкладання його горючої маси з виділенням летючих частинок, які надходять в газовий потік. Далі ця суміш газів, що має ще достатньо високу температуру, омиває решту поверхні каналу, підсушуючи вугілля. Таким чином, процес газоутворення в каналі газифікації можна умовно розбити на чотири зони – окислення (або горіння), відновлення, термічного розкладання вугілля, сушки.

У кінці зони горіння встановлюється найвища температура, оскільки більшість реакцій тут протікають з виділенням тепла. У зоні відновлення всі реакції протікають з поглинанням тепла, тому температура в каналі різко знижується. На виході з каналу температура дуже коливається залежно від його довжини і ступеня заповнення вигазованого простору, але зазвичай не буває нижчою за 100...150° С. Одночасно з газоутворенням в каналі, відбуваються складні процеси також і в оточуючому його вугільному масиві. У частинах вугільного

масиву, де вугілля нагріте до  $900...1100^{\circ}\text{C}$ , горюча маса розкладається з виділенням газу, що має теплоту згорання  $4...4,5$  тис. ккал/м<sup>3</sup>, і утворенням твердого залишку – коксу. У інтервалі температур  $700...800^{\circ}\text{C}$  відбувається середньотемпературне розкладання або середньотемпературне коксування, при якому виділяється газ з теплотою згорання  $5...6$  тис. ккал/м<sup>3</sup>. При температурі  $550...600^{\circ}\text{C}$  низькотемпературне розкладання горючої маси вугілля (або напівкоксування) відбувається з утворенням газів з теплотою згорання  $6...8$  тис. ккал/м<sup>3</sup> і твердого залишку – напівкоксу. У міру газифікації канали розширюються, породи, що налягають на пласт, обвалюються, заповнюючи вигазований простір і зменшуючи вільний переріз каналу. Обвалення і оплавлення порід покрівлі ніколи не приводять до повної закупорки каналу і дуття, що подається, має доступ до реакційної його поверхні при будь-якому розташуванні каналу в площині пласта.

На рисунку показана зміна складу газу по горизонтальному каналу довжиною 100 м. Дослід виконувався на повітряному дутті з отриманням енергетичного газу. Як видно з рисунка, енергетичний газ підземної газифікації містить горючі компоненти – водень, оксид вуглецю і летючі продукти, які умовно приймають за метан. Крім того, у ньому в незначних кількостях містяться сірководень і неграничні вуглеводні. Негорючі гази представлені киснем (до 0,2%), двоокисом вуглецю (до 20...22%) і азотом. Концентрація останнього особливо значна при виконанні процесу на повітряному дутті і різко скорочується при збагаченні дуття киснем.

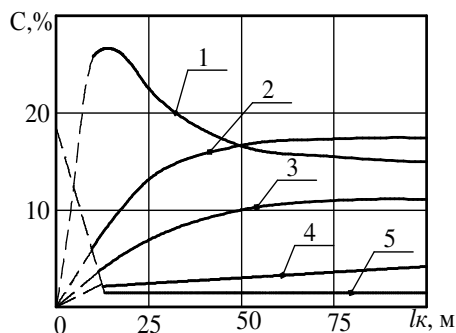


Рисунок. Графік зміни вмісту C: вуглецю (1), оксиду вуглецю (2), двоокису вуглецю (3), метану (4), вуглецю (5), по довжині lk каналу

Процес підземної газифікації вугілля можна розділити на три складові: реагування твердої фази (вуглець) з газоподібною (кисень, водяні пари), взаємодія різних компонентів газу в газовому середо-

110

вищі, термічна переробка горючої маси з виділенням летючих речовин.

На характер і перебіг технологічного процесу підземної газифікації впливає безліч чинників, що визначають дві його основні сторони: власне хімічний процес утворення газу і гідродинамічний характер взаємодії дуття з реагуючою поверхнею палива. Із них найбільше значення мають інтенсивність нагнітання дуття і концентрація в ньому кисню, температура в каналі газифікації, хімічний склад палива, умови залягання пластів, обводнення родовища.

Однією з необхідних умов підвищення інтенсивності процесу підземної газифікації є підтримка високої температури, яка прискорює швидкість хімічної взаємодії між реагуючими речовинами (сприяє утриманню сумарного процесу газоутворення в дифузійній області).

Інтенсивність нагнітання дуття значною мірою впливає на збільшення швидкості дифузії і сприяє утриманню сумарного процесу у дифузійній області. Проте досліді свідчать, що після певної межі подальша інтенсифікація нагнітання дуття веде до погіршення якості газу (підвищується концентрація  $\text{CO}_2$  і нерозкладеного пару). Це вказує на перехід процесу з дифузійної області в кінетичну (до реакційної поверхні підводиться більше вуглекислоти і пари), тобто кожен підземний газогенератор має свою оптимальну інтенсивність [4].

Одним з найлегших способів підвищення температури в каналі газифікації а, отже, поліпшення якості газу є підвищення концентрації кисню в дутті. Підземна газифікація вугілля на повітряному дутті має той недолік, що в підземні газогенератори подається 79% баласту у вигляді азоту, який доводиться нагрівати разом з киснем, потім виводити з підземного газогенератора разом з горючими компонентами і направляти споживачам. Перехід на дуття збагачене киснем (паро-кисневе), є одним з шляхів значного підвищення теплоти згорання газу і ККД процесу, що може привести до значного покращення техніко-економічних показників виробництва.

Збільшення тиску в підземному газогенераторі призводить до поліпшення якості газу і зниження його вологості. Це пояснюється віджиманням води з каналу газифікації, а також тим, що тиск є функцією інтенсивності подачі дуття.

Збільшення зольності вугілля викликає значне зниження теплоти згорання газу, зниження якості газу і зменшення виходу газу з 1 кг вугілля. Також існує оптимум вологи. При підвищенні вологості вугілля і навколишніх порід, а також збільшенні водопритоку в канал

газифікації вміст горючих компонентів у ньому зменшується.

Потужність вугільного пласта істотно впливає на результати підземної газифікації. При її збільшенні зменшуються втрати тепла в навколишній гірський масив.

При постійному режимі дуття і незмінному ступені вигазовування вугілля збільшення довжини каналу газифікації призводить до зниження якості газу. Наприклад, на одному з підземних газогенераторів підмосковної станції «Підземгаз» при збільшенні відстані від свердловини дуття з 25 до 50 і 75 м нижче значення теплоти згорання газу зменшилося з 1025 до 870 і 750 ккал/м<sup>3</sup> відповідно. Це зниження якості газу пов'язане з реакцією конверсії, яку можна зменшити інтенсифікацією процесу, збільшенням кількості дуття або підвищенням концентрації кисню.

Для забезпечення задовільного протікання процесу газифікації необхідно влаштувати канали у пласті вугілля. Процес пропалення у вугільному пласті каналу вогнищем горіння, що переміщається назустріч потоку дуття або в напрямку, називається фільтраційною збійкою свердловин. У першому випадку збійку називають протиточною, в другому – прямоточною. Протиточна фільтраційна збійка здійснюється наступним чином: буриться і обсаджується ряд свердловин, необсадженою залишається тільки нижня частина; далі затрубний простір тампонується; потім розпочинають віджимання вологи з пласта. Для цього нагнітають дуття в дві, три або у всі свердловини (залежно від наявності дуття і прийнятого порядку збійки). Після попередньої сушки припиняють нагнітання дуття в одну із свердловин (розпалюючу), сполучену із атмосферою і запалюють вугільний пласт. Розвиток горіння забезпечується порівняно нетривалим нагнітанням дуття у розпалюючу свердловину і її періодичним розвантаженням (продукти горіння викидаються в атмосферу). Як тільки досягнута стійке горіння вугілля, із розпалюючої свердловини протягом всього періоду збійки відводиться газ. Подальше горіння вугілля підтримується за рахунок кисню дуття, що нагнітається в сусідні свердловини і горіння, що фільтрується у напрямку до вогнища. Завершальний етап збійки для всього вугілля характеризується різким падінням тиску, бурхливим виділенням газів і підвищенням їх якості. З цього часу канал вважається готовим для ведення процесу газифікації. Фільтраційна збійка на нових ділянках може вестися в одному, двох, трьох або чотирьох напрямках одночасно. При наявності поблизу свердловини вигазованого простору збійку ведуть безпосередньо на нього і гази збійки змішуються з газами газифікації. На швидкість

збійки і питому витрату дуття впливають зольність вугілля, його пористість та проникність, характер підшви й покрівлі пласта, інтенсивність нагнітання дуття, потужність пласта і його обводненість, відстань між свердловинами, склад дуття. Фільтраційна збійка від свердловини дуття, розташована між збійною і газовідвідною свердловинами та призначена для нагнітання дуття на газифікацію, вигідніша, ніж від газовідвідної [5].

Таким чином, підземна газифікація вугілля є одним із перспективних методів отримання енергосировини з вугілля на місці його залягання, а саме переведення його у висококалорійні гази, що за цінністю більш калорійніші ніж вугілля. До недоліків ПГВ слід віднести відносно невисокий ступінь вивченості та значну вартість будівництва повноцінного виробництва, а до переваг – можливість, у перспективі, зменшити внутрішнє використання дорогого природнього газу, та можливість переробки забалансових запасів вугілля. Однак все це потребує подальшого наукового дослідження за державної чи регіональної підтримки, оскільки досвіду вітчизняних дослідників не достатньо для більш широкого застосування ПГВ у промислових масштабах.

1. Маланчук З. Р. Гідровидобуток корисних копалин. Навчальний посібник / Маланчук З. Р., Боблях С. Р., Маланчук Є. З. – Рівне : НУВГП, 2009. – 280 с.
2. Софійський К. К. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / Софійський К. К., Калфакчян А. П., Воробьев Е. А. – Москва : Недра, 1994. – 192 с.
3. Гайко Г. И. Утилизация тепловой энергии при подземной термохимической переработке угольных пластов. Монография / Гайко Г. И., Заев В. В., Шульгин П. Н. – Алчевск : ДонГТУ, 2012. – 142 с.
4. Шиллинг Г-Д. Газификация угля / Шиллинг Г-Д., Бонн Б., Краус У. – Москва : Недра, 1986. – 175 с.
5. Белов А. В. Перспективы химической переработки газа подземной газификации угля / Белов А. В., Гребенюк И. В. // Горная Промышленность. – 2009. – № 3. – С. 36.

Рецензент: д.т.н., професор Надутий В. П. (НУВГП)

---

**Malanchuk Z. R., Doctor of Engineering, Professor, Zaiets V. V., Candidate of Engineering, Senior Lecturer** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Solvar L. M., Director, Romanchuk S. S., Associate Director** (SHEE Chervonograd Mining and Economic College, Chervonograd)

**UNDERGROUND GASIFICATION OF COAL DEPOSITS**

**The issue of nontraditional coal mining methods of underground gasification is analyzed. The main advantages and disadvantages of the method, its structure and features of the application are identified. The main factors of influence on the process of underground gasification are provided.**

***Keywords:* gasification, energy, coal, coal layer.**

---

**Маланчук З. Р., д.т.н., професор, Заец В. В., к.т.н., старший преподаватель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Сольвар Л. М., директор, Романчук С. С., заместитель директора** (ГВУЗ Червоноградский горно-экономический колледж, г. Червоноград)

## **ПОДЗЕМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЯ**

**Проанализированы вопросы добычи угля нетрадиционным методом его подземной газификации. Указанные основные преимущества и недостатки метода, его структура и особенности применения. Установлены определяющие факторы влияния на процесс подземной газификации.**

***Ключевые слова:* процесс газификации, энергетические ресурсы, уголь, угольный пласт.**

---