

Дичковський Р.О., д-р техн. наук, професор
(Державний ВНЗ НГУ))

ДО ПИТАННЯ КЕРУВАННЯ ГІРСЬКИМ ТИСКОМ ПРИ СВЕРДЛОВИННІЙ ПІДЗЕМНІЙ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

Дычковский Р.Е., д-р техн. наук, профессор
(Государственный ВУЗ «НГУ»))

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ СКВАЖИННОЙ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Dychkovskiy R.O., D.Sc. (Tech), Professor
(SHEI «NMU»))

SOME ASPECTS OF MANAGING THE MINING PRESSURE IN WELL UNDERGROUND COAL GASIFICATION

Анотація. Викладено результати встановлення напружено-деформованого стану гірського масиву, товщини двошарової штучно створеної оболонки та кроку обвалення порід для забезпечення керування гірським масивом в зоні виконання свердловинної підземної газифікації вугілля. Забезпечено необхідну стійкість контуру геореактора та необхідного простору для проходження газових сумішей.

Запропоновано математичний механізм визначення теплообміну у породах при варіації складом дуттьової суміші та зміни її тиску.

Проведення аналітичних досліджень ґрунтувалось на основі схеми теплообмінника, що найбільш точно характеризує розподіл температурного поля в зоні впливу геореактора.

Формування штучних оболонок в зоні впливу підземних газогенераторів здійснювалося у два етапи через оболонку оплавлених порід, яка знаходиться безпосередньо над осередком газифікації, та створенням порід зі зміненими метаморфічними властивостями у глибині масиву.

Переміщення порід досліджувалися на тестових установках за допомогою спеціальних датчиків. Чисельний аналіз використано для визначення напружено-деформованого стану порід на основі термо-пружно-пластичної моделі деформаційного середовища. Для побудови узагальнюючих залежностей використано метод множинної регресії та застосовано загальноновизнані системи обробки даних таблиць Excel-2013.

Ключові слова. Двошарова штучностворена оболонка, дуттьова суміш, геореактор, крок обвалення порід, керування гірським тиском.

Вступ. Збитковість роботи багатьох вугільних підприємств, зниження безпеки виконання технологічних процесів гірничого виробництва, що призводить до травматизму та летальних випадків, вимагає перегляду ефективності існуючих механічних технологій відбивання вугілля від масиву й існування у наявному вигляді самих шахт. Сьогодні ведеться переорієнтація підприємств на системи: «шахта-лава», «газовугільна шахта» чи ін.; розробляються технології використання теплової енергії порід, перепадів температури вхідного і вихідного струменів повітря тощо. На жаль, дані перетворення лише вносять доповнення до існуючих способів отримання енергетичних джерел, руйнування, транспортування та переробки сировини.

До якісної зміни технологій видобування вугілля спонукають багато інших факторів. Основними серед них є: збільшення середньої глибини ведення гірничих робіт, зниження потужності пластів, наявність тектонічних та природних зон підвищеного гірського тиску, геодинамічних і динамічних проявів у масиві тощо. Однією із радикально нових технологій розробки та переробки вугілля є свердловинна підземна газифікація (СПГВ). Дана технологія полягає у бурінні похило-горизонтальних свердловин по вугільному пласту із з'єднанням їх між собою. Далі провадиться розпалювання вугілля та створюється керований вогневий вибій із збалансованим дотриманням окислювальної та відновної зон. Це дає можливість отримувати суміш горючих газів із подальшим їх використанням як джерела електричної енергії та хімічних продуктів. У гірництві такий спосіб розробки вугільних родовищ за інноваційністю, безпекою праці, отриманням енергетичного продукту відноситься до категорії «високі технології (high technologies)».

Новітні схеми СПГВ дають можливість провадити розробку запасів на новому техніко-економічному рівні з виключенням забруднення навколишнього середовища при видобутку, комплексній переробці вугільних пластів на місці їх залягання з отриманням високотехнологічних продуктів у вигляді електричної, теплової енергії та хімічної сировини.

У Національному гірничому університеті на кафедрі підземної розробки родовищ розроблено технологічні концепції енергохімічного підприємства з видобутку і переробки пластів твердого палива з урахуванням геологічних і техногенних чинників у безпечному екологічно чистому циклі при утилізації й переробці димових газів, шламів і золоносів ТЕС, ТЕЦ та котельних. Замкнений цикл підземної газифікації вугілля дає можливість вирішити актуальну екологічну проблему утилізації, переробки димових газів та відходів енергетичних підприємств. Газ ПГВ не вимагає додаткової підготовки і використовується як енергоресурс для отримання теплової, електричної енергії на самій станції «Підземгаз» за допомогою поршневих агрегатів, паротурбінних або газотурбінних установок.

Промислова реалізація цієї технології доводить її рентабельність, тому сьогодні актуальним постає питання удосконалення технічних і технологічних рішень, а також визначення складу дугтьової суміші та вихідних продуктів. Важливими складовими досліджень протікання підземної газифікації вугілля є визначення збалансованості фізико-хімічних процесів, пов'язаних зі зміною хімічного складу й якісних властивостей вугілля, а також конструктивних особливостей підземного газогенератора. Від взаємодії (збалансованості) системи «підземний газогенератор», швидкостей хімічних реакцій і фізичних процесів при вигазуванні вугільного пласта залежатиме керованість, безпека і технологічність виробництва штучного газу.

На підставі параметрів матеріального і теплового балансу можна визначити чисельні значення коефіцієнтів корисної дії як окремих складових процесу газифікації, так і всієї установки у цілому. Ці параметри також слугують підставою для вибору технічного і технологічного забезпечення процесу газифікації,

поверхневого комплексу очищення і переробки продуктів СПГВ, попередньої оцінки ефективності й економічності генератора.

При газифікації вугілля діють високі температура та тиск, які формують специфічну гірничо-геологічну ситуацію. Важливим елементом застосування цієї радикальної технології є розробка заходів із комплексного використання продуктів газифікації як енергетичного джерела та хімічної сировини, що склалися із наступних етапів:

- формування штучноствореної двошарової оболонки для ефективного керування гірським тиском;
- аналітичне визначення матеріально-теплого балансу процесу газифікації;
- стендові дослідження і адаптація керованості системи до реальних гірничо-геологічних умов;
- промислово-експериментальна перевірка отриманих результатів.

Саме формування під дією високої температури та тиску і застосування спеціальних дуттьових сумішей двошарової штучноствореної оболонки дає можливість створити контрольоване обвалення порід. Що є основою для керування гірським тиском та забезпечення необхідного простору для проходження газових потоків через газогенератор.

Результати тестових та шахтних експериментальних досліджень. Перевірка результатів аналітичного моделювання проводилася на двох стендових установках, що були виконані для умов шахт Західного Донбасу, Соленівського родовища (Україна) і Нижньо-Сілезького промислового регіону (Польща), та на експериментальній шахті «Барбара» (Міколув, Польща) [1, 2 та ін.].

Стендові установки були розроблені співробітниками Національного гірничого університету та Головного інституту гірництва (м. Катовіце, Польща). Ці роботи виконувалися у рамках реалізації спільних міжнародних науково-дослідних проектів і госпдогвірної тематики на замовлення компаній ДТЕК та ПрАТ «Донецьксталь – металургійний завод». Узагальнена схема моделі підземного газогенератора складалася із чотирьох систем (рис. 1):

- роздільної й змішаної подачі дуттьової суміші;
- самого геореактора;
- видачі продуктів газифікації та їх утилізації;
- контролю температури і складу вхідної та вихідної газових сумішей.



Рисунок 1 - Технологічна схема стендової установки підземної газифікації вугілля

Технологічну схему тестової установки для гірничо-геологічних умов шахти «Барбара» (м. Миколув, Польща) наведено на рис. 2. Її було виконано у вигляді моделі з загальними розмірами 15000×31000×14000 мм. У вугільний пласт роздільно нагніталися кисень (активація процесу газифікації), водяна пара (забезпечення робочого режиму) та повітря.

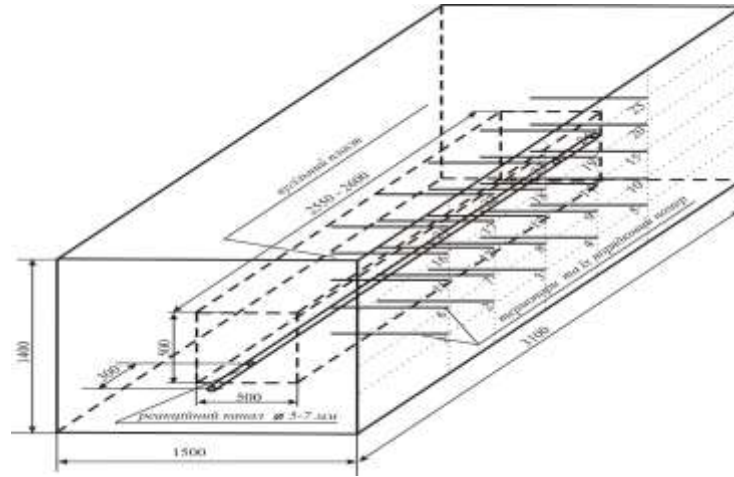


Рисунок 2 - Аксонометрична проекція технологічної схеми стендової установки із газифікації вугілля

Герметичність газогенератора забезпечувалася спеціальним виконанням складових елементів, із яких було споруджено газогенератор. Вони були обладнані спеціальними пазами, в які достатньо щільно входили будівельні елементи стінок. Кінцева ізоляція забезпечувалася покриттям як зсередини, так і ззовні глиняноцементним розчином.

Проведена симуляція вугільного пласта суттєво відрізнялася від існуючих технологій, оскільки його будова була змодельована із двох окремих блоків, що поєднувалися між собою вугільноцементним розчином. При протіканні процесу газифікації дана обставина також враховувалася при обробці кінцевих результатів. Графіки змінності загальної кількості кисню та водяної пари у дуттьовій суміші під час експерименту наведено на рис. 3 і 4.

Застосування пари у роботі газогенератора мало на меті забезпечити два основні завдання:

- орієнтація підземної газифікації на максимальне отримання газу водню;
- формування штучноствореної оболонки оплавлених порід для ефективного керування гірським тиском.

Аналіз температурного поля провадився двома способами: аналітично та практично – за допомогою термопар, що покривали усю площу газифікації. Поле максимальних температур знаходилось у межах термопар № 1 і №2 (див. рис. 2), що призвело до максимального їх навантаження на гранично допустимі навантаження та виходу їх із ладу. Тому для відображення показників роботи газогенератора була проведена інтерпретація отриманих результатів за показниками інших термопар по площі установки відповідно до зони дії реакційного каналу.

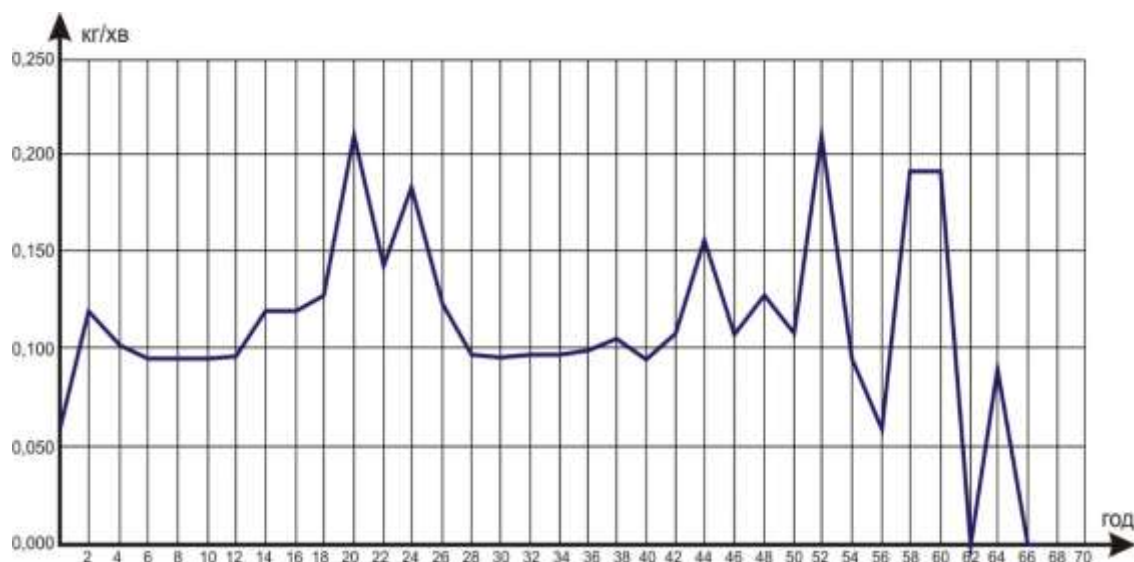


Рисунок 3 - Графік зміни кількості поданого кисню під час проведення експерименту для активізації процесу газифікації

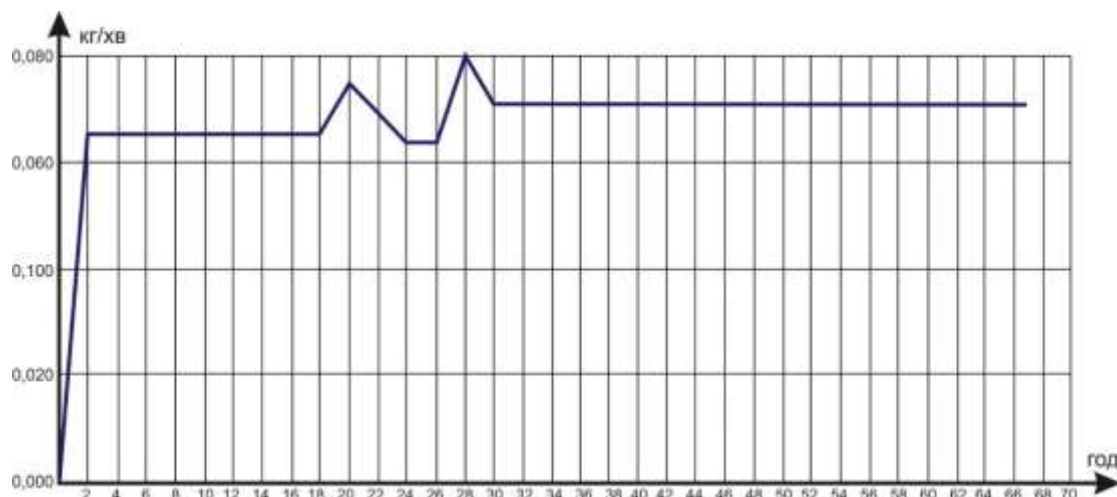


Рисунок 4 - Графік зміни кількості поданого водяної пари у геореактор – формування робочої фази газифікації

Аналітичне встановлення абсолютних величин ентальпії гірського масиву та розрахунку двошарової штучноствореної оболонки. Формування штучних оболонок навколо підземних газогенераторів здійснюється у два етапи: створення штучноствореної оболонки оплавлених порід, яка знаходиться безпосередньо над осередком газифікації, та створення порід зі зміненими метаморфічними властивостями у глибині масиву. Кожна з цих оболонок відіграє важливу роль при керуванні гірським тиском та встановленні необхідного кроку опускання порід покрівлі для проходження вхідної і вихідної дуттьової сумішей.

Перша оболонка формується на незначну глибину від декількох міліметрів до десятків сантиметрів. Вона слугує захисним екраном від впливу відкритого високотемпературного розжареного поля і забезпечує зміну метаморфічних

властивостей. Це стосується не лише глиновмісних порід, які під дією високих температур мають можливість збільшувати свої міцнісні характеристики у декілька раз, але й самого вугілля. Крім цього, даний процес необхідний для створення ізолюючого шару, який запобігає міграції газів по масиву порід та забезпечує максимальну герметичність системи тестового геореактора.

Витіснення води із масиву окрім формування підвищення ступеня метаморфізму при подальшому нагріванні викликає деструкцію масиву. Тому процес формування штучної двошарової оболонки є надзвичайно складним. Одразу після запуску геореактора система піддається дії підігрітої пари, яка проходить через усю зону газифікації, і при контакті з вугіллям чи боковими породами під дією температур поступово призводить до їх оплавлення. При цьому необхідно забезпечити рівномірність омивання каналу газифікації дуттьовою сумішшю і забезпечення відповідних температур у каналі. За допомогою випалювання формується перший шар оболонки, в результаті чого вугільна поверхня чи поверхня глиновмісних порід оплавляється і перетворюється на достатньо тверду субстанцію. Температура на цьому етапі знаходиться у межах робочих значень 900 – 1200 °С.

Надалі підвищується температура в зоні запалення вугільного пласта способом активізації дуттьової суміші киснем, а у в зоні витоку із геореактора вона зменшується. Схема формування першого шару штучноствореної оболонки оплавлених порід, виконаних на стендовій установці, імітувала умови шахти «Барбара» (Польща) і була проведена у рамках реалізації проекту HUGE: Hydrogen oriented underground coal gasification for Europe [1].

Виконання подальшої активізації процесу газифікації проводиться шляхом збільшення вмісту кисню у дуттьовій суміші та доведення температурного режиму до 1600 °С. При цьому відбувається формування термічного поля шляхом імпульсної подачі суміші газів у зону реакції. Залежно від типу газифікації та її орієнтації на кінцеву продукцію для виведення газогенератора на робочу потужність й отримання температурного поля у межах 900 – 1200 °С до системи додають повітряноводяну (скраплена пилеподібна вода), пароповітряноводяну суміш чи суміші із додаванням вуглекислого газу. Як було зазначено вище, при подачі води на розпечену поверхню вугільного пласта чи на оточуючі геореактор породи відбувається оплавлення контактних поверхонь, а також розкладання її на складові елементи.

За необхідності активізації процесу (температура знижується до нижньої допустимої межі у 900 °С) у дуттьовій суміші збільшують вміст кисню. Для аварійної зупинки газогенератора використовують газоподібний азот.

На робочому етапі газифікації температурне поле розширюється в глибину масиву, формуючи другий шар штучноствореної оболонки. Деформаційні характеристики цієї оболонки визначатимуть крок обвалення порід покрівлі під час руху геореактора вздовж виїмкового стовпа.

Термопередача між елементами гірського масиву відбувається на основі принципів кавітаційного та кондукційного теплообмінів. Її розрахунок буде аналогічним будь-якому теплообміннику, який має контакт із зовнішнім сере-

довищем (Лавров, 1957). Розрахункова схема теплообміну наведена на рис. 5.



Рисунок 5 - Розрахункова схема теплообміну в межах зони впливу підвищених температур від геореактора: T_0 , z_0 , T_k , z_k – відповідно вхідні та вихідні значення температур та дуттьового еквіваленту

Виходячи із проведених аналітичних, лабораторних та тестових досліджень, була прийнята схема до розрахунку теплообмінника, що найбільш точно характеризує розподіл температурного поля в зоні впливу геореактора (рис. 5). За початок системи відліку прийнята зона максимальних окислювальних реакцій, що знаходиться на відстані близько 10 м від устя реакційного каналу. Величина температурного поля t змінюється від максимальних значень T_0 до мінімальних T_k , що знаходяться на ви-тоці з геореактора зі зміною нагріваючих температур по довжині каналу T_i . Значення дуттьового еквіваленту (добуток витрати температури по довжині реакційного каналу на питому теплоємність) змінюється від початкових значень z_0 до кінцевих – z_k , зі зміною цих показників по довжині каналу z_i . Ефективність нагріву гірського масиву характеризується ступенем регенерації e_i . Для визначення цієї величини необхідно розглянути низку вихідних даних, що характеризують зміну розповсюдження термічного поля вглиб гірського масиву.

Зміна розповсюдження температур в глибину масиву отримаємо шляхом диференціювання температур по довжині розповсюдження термічного поля:

$$T_i' = \frac{dT_i}{di}.$$

Кожна ділянка гірського масиву характеризується певною площею F_i та коефіцієнтом теплопередачі чи ентальпії δ . В сторону від реакційного каналу температурне поле прагне досягнути природних значень температур. Якщо прийняти їх за нульові, то співвідношення $z_i di/z_0$ теж буде дорівнювати 0. Відповідно, ступінь регенерації e_i можна визначити за виразом:

$$e_i = 1 - e^{-\frac{k \cdot F_i}{z_i}}.$$

Тоді для розподілу температур по системі нагрівання буде справедливим вираз:

$$-dT_i = \frac{(T_i - T_0)e_i z_i}{z_0} di.$$

Позначивши $\frac{e_i z_i}{z_0} = P$, отримаємо диференційне рівняння:

$$T_i' + P \cdot T_i = P \cdot T_0.$$

Розв'язком цього рівняння буде функція, що характеризує температуру на відстані i від зони газифікації:

$$T_i = e^{(-P \cdot i) \left\{ \int [P \cdot T_0 \cdot e^{(P \cdot i)} di] + c \right\}}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

де c – емпіричний коефіцієнт, що характеризує зміну температурного поля виходячи із конкретних гірничо-геологічних умов проведення газифікації.

Середнє значення температури по довжині реакційного каналу складе

$$T_{icp} = \frac{\sum T_i}{j}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

де j – кількість точок, прийнятих до аналізу температурного поля.

Відповідно, температура на виході із геореактора складатиме:

$$T_\kappa = T_{icp} + (T_0 - T_{icp})e^{-P}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

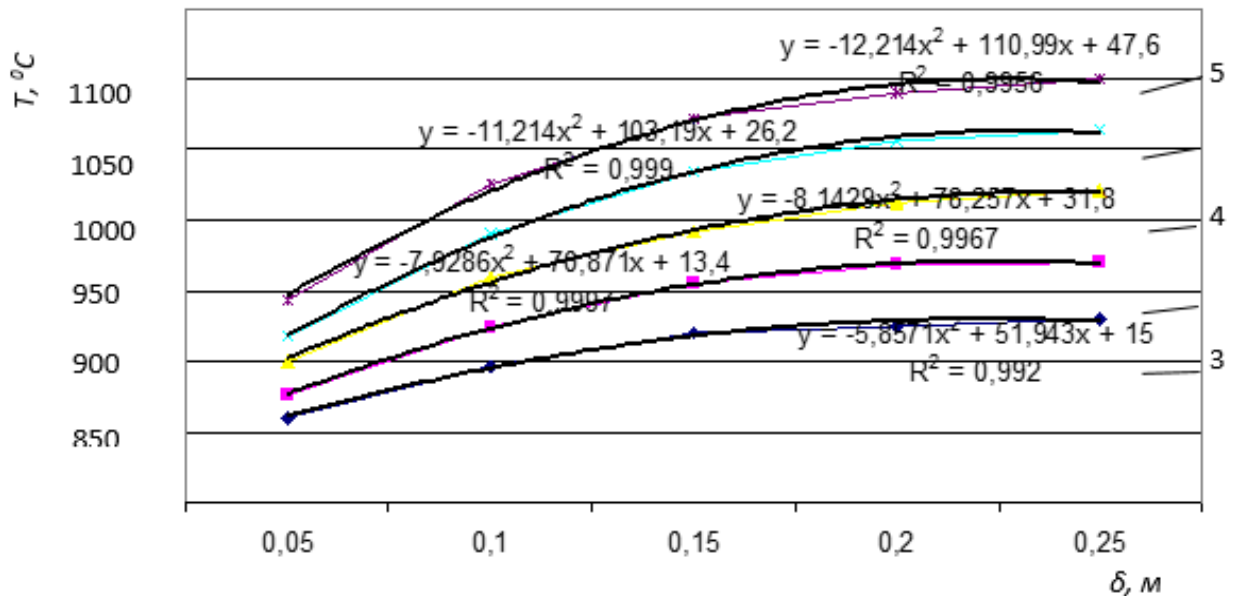
Ступінь регенерації на кінцевому відрізку нагріваючої зони геореактора складе:

$$e_\kappa = \frac{(T_0 - T_\kappa)}{(T_0 - T_{icp})} = 1 - e^{(-P)}.$$

Результати досліджень поля температур і відповідно сформованої оболонки оплавлених порід наведено у табл. 1 та на рис. 6.

Таблиця 1. Результати досліджень товщини оболонки від поля температур

Параметр	Значення параметра				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Тиск дугтьової суміші, P , МПа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Значення температури, $^\circ\text{C}$	860	897	920	925	930
	876	924	955	969	970
	900	960	992	1012	1021
	917	990	1005	1057	1063
	944	1025	1072	1090	1100
Товщина штучноствореної оболонки оплавлених порід, δ , м	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25



1 – 5 – варіація тиску (1 – 0,1 МПа; 2 – 0,2 МПа, 3 – 0,3 МПа, 4 – 0,4 МПа, 5 – 0,5 МПа)
Рисунок 6 - Характер розповсюдження ентальпії порід при різній товщині штучноствореної оболонки оплавлених порід

У загальному вигляді дана залежність з високим ступенем збіжності матиме вигляд:

$$T = a_1 \cdot \delta^2 + a_2 \cdot \delta + a_3,$$

де $a_1 - a_3$ – емпіричні коефіцієнти, що залежать від тиску дугтьової суміші у геореакторі.

Отримані залежності вказують на можливість варіювати товщиною штучноствореної оболонки оплавлених порід від 0,05 до 0,25 м з метою встановлення величин деформацій гірського масиву над вигазованим простором газогенератора. Таким чином забезпечується раціональний крок обвалення порід від джерела газифікації.

Це дає можливість формувати штучностворену оболонку оплавлених порід із підвищеними механічними властивостями для ефективного керування станом гірського масиву при вигазовуванні вугільного пласта.

Встановлення кроку обвалення гірських порід. Встановлення абсолютних величин кроку обвалення виконувалися на полігоні шахти «Барбара» та тестовій установці, розробленій у Національному гірничому університеті, що дає можливість також відтворювати гірничо-геологічні умови слабометаморфізованих гірських порід.

В основу промислового визначення кроку посадки порід покрівлі закладено принцип руху газоповітряних сумішей, в основі якого лежить рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона-Менделєєва) [3]:

$$PV = nRT, \quad (1)$$

де n – число молей газу; P – тиск газоповітряної суміші; V – об'єм газу (у літрах); T – температура газу (у Кельвінах); R – газова стала (0,0821 л·Атм/моль·К).

Виразивши (1) через молярну масу суміші газів, отримаємо:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T,$$

де m – маса газу (кг); M – молярна маса газу, кг/моль.

Враховуючи, що у нашому випадку, витрата суміші газів є добутком швидкості на площу поперечного перерізу свердловин та реакційного каналу, отримаємо залежність

$$Q = v \cdot S, \text{ м}^3/\text{с},$$

де v – швидкість руху дуттьової суміші, м/с; S – площа поперечного перерізу.

У спрощеному вигляді під час руху дуттьової суміші по каналах газифікації дана залежність отримає вигляд:

$$Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = v_3 \cdot S_3, \text{ м}^3/\text{с},$$

де $v_1, v_2, v_3, S_1, S_2, S_3$ – параметри швидкості руху дуттьової суміші та площі поперечного перерізу відповідно для подавальної свердловини, реакційного каналу та відвідної свердловини.

Виразивши площі через відповідні геометричні розміри, отримаємо:

$$Q = v_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = v_2 \cdot m \cdot l_k = v_3 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}, \text{ м}^3/\text{с},$$

де d_1, d_3 – діаметри відповідно подавальної та відвідної свердловин; m – потужність пласта, що газифікувався; l_k – крок посадки покрівлі.

З урахуванням зміни температур на вході та виході з характерної ділянки газогенератора отримаємо, що крок посадки покрівлі може бути визначений за виразом:

$$l_k = \frac{v_1 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot \Delta T_1}{4 \cdot m \cdot v_2 \cdot \Delta T_2} = \frac{v_3 \cdot \pi \cdot d_3^2 \cdot \Delta T_3}{4 \cdot m \cdot v_2 \cdot \Delta T_2}, \text{ м}^3/\text{с},$$

де $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3$ – перепад температур відповідно у дуттьовій, газовідвідній свердловинах та у геореакторі.

Тому для визначення кроку посадки покрівлі при підземній газифікації дуже важливим є витрата повітря по всій зоні газифікації.

Висновки. Свердловинна підземна газифікація є однією із перспективних якісно нових радикальних технологій видобування вугілля. Межі її застосування визначаються виходячи із керування фізико-хімічними реакціями, всестороннього обґрунтування технологічних параметрів, режимів подачі дуттьової суміші та встановлення матеріально-теплого балансу. При тиску у геореакторі на рівні 1,1 – 1,5 Атм (процес на межі газифікації та підземного спалювання вугілля) технологічність процесу забезпечується комбінованою подачею дуттьової суміші під тиском та відсмоктуванням газів із зони реакції.

У геореакторі при підземній газифікації вугілля температурний режим змінюється від 900 до 1200°C за параболічною залежністю під керованим впливом пульсуючого пароповітряного дуття у межах тиску від 0,1 до 0,5 МПа. Це дозволяє змінювати товщину штучно створеної оболонки оплавленої породи від 0,05 до 0,25 м з метою керування станом гірського масиву над вигазованим простором газогенератора.

Входячи із отриманих залежностей крок обвалення порід від вогнища (осередку) газифікації збільшується зі збільшенням товщини оплавленої штучно створеної оболонки за параболічною залежністю аналогічно формуванню товщини штучно створеної оболонки оплавленої породи. Урахування цієї залежності дає можливість забезпечити стійкий процес газифікації тонких та вельми тонких вугільних пластів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Falshtynskiy, V. Geomechanical model of rockmass containing gas-generator and its industrial estimation. Scientific Reports on Resource issues / V. Falshtynskiy, R. Dichkovskiy // Mechanical Characteristics of Rock: International University of Resources: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg. – 2010. – Vol. 2. – pp. 192 – 204.
2. Bondarenko, V.I. Synthetic Stowing of Rockmass at Borehole Underground Coal Gasification (BUCG). Deep Mining Challenges / V. I. Bondarenko, V. S. Falshtynskiy, R.O. Dichkovskiy // Mining International Mining Forum – London / Leiden / New York/ Philadelphia/ Singapore: A.A. Balkema Publishers, 2009. – pp. 169 – 179.
3. Kolokolov, O.V. Progressive Schemes of Underground Gasproducer Encapsulation / O.V.Kolokolov, V.S. Falshtynskiy, N.M. Tabatchenko // Geotechnological Issues of Underground Space Use for Environmentally Protested World 2001. - Dnipropetrovsk: NMUU, 2001.– pp. 83 – 86.

REFERENCES

1. Falshtynskyy, V. and Dichkovskiy, R. (2010), «Geomechanical model of rockmass containing gas-generator and its industrial estimation. Scientific Reports on Resource issues», *Mechanical Characteristics of Rock: International University of Resources: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg*, Vol. 2, pp. 192 – 204.
2. Bondarenko, V.I., Volodymyr S. Falshtynskiy, V.S. and Dichkovskiy, R.O. (2009), «Synthetic Stowing of Rockmass at Borehole Underground Coal Gasification (BUCG). Deep Mining Challenges», *Mining International Mining Forum*, London / Leiden / New York/ Philadelphia/ Singapore: A.A. Balkema Publishers, pp. 169 – 179.
3. Kolokolov, O.V., V.S. Falshtynskiy, V.S. and Tabatchenko, N.M. (2001), «Progressive Schemes of Underground Gasproducer Encapsulation», *Geotechnological Issues of Underground Space Use for Environmentally Protested World 2001*, NMUU, Dnipropetrovsk, pp. 83 – 86.

Про автора

Дичковський Роман Омелянович, доктор технічних наук, професор кафедри підземної розробки родовищ, начальник науково-дослідної частини Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» МОН України, Дніпропетровськ, Україна, dichre@yahoo.com

About the author

Dichkovskiy Roman Omelianovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Department of Underground Mining, Head of the Research and Science Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine, dichre@yahoo.com

Аннотация. Изложены результаты установления напряженно-деформированного состояния горного массива, толщины двухслойной искусственно созданной оболочки и шага обрушения пород для обеспечения управления горным массивом в зоне выполнения скважинной подземной газификации угля. Обеспечено необходимую устойчивость контура геореактора и необходимого пространства для прохождения газовых смесей.

Предложено математический механизм определения теплообмена в породах при вариации составом дутьевой смеси и изменении ее давления. Проведение аналитических исследований основывалось на схеме теплообменника, наиболее точно характеризующего распределение температурного поля в зоне влияния геореактора. Формирование искусственных оболочек в поле подземных газогенераторов осуществлялось в два этапа через оболочку оплавленных пород, которая находится непосредственно над очагом газификации, и созданием пород с измененными метаморфическими свойствами в глубине массива.

Перемещение пород исследовались на тестовых установках с помощью специальных датчиков. Численный анализ использовано для определения напряженно-деформированного состояния пород на основе термо-упруго-пластического модели деформационной среды. Для построения обобщающих зависимостей использован метод множественной регрессии и применены общепризнанные системы обработки данных таблиц Excel-2013..

Ключевые слова. Двухслойная искусственно созданная оболочка, дутьевая смесь, геореактор, шаг обрушения пород, управления горным давлением

Abstract. The results establishing the stress-strain state of the rock-mass, the thickness of the artificially created bilayer shell and rocks movement to manage massif in the zone of conducting the well underground coal gasification are presented. It was developed the appropriate resistance of the gas-gen circuit and necessary space for the passage of gas mixtures.

The mathematical mechanism for determining the heat variations in the composition of rocks at blowing mixtures and change of its pressure is given. Analytical studies based on the heat-exchanging scheme, that accurately describes the distribution of the temperature field in the zone of gas-gen are done. Forming the artificial shells in the area of underground gas generators was carried out in two stages through the shell melted rocks, located directly above the center of gasification and the creation of metamorphic rocks with altered properties in the depths of the rock-mass.

It was detected the movement of rocks studied on the test unit with special sensors. Numerical analysis used to determine the stress-strain state of rocks based on thermo-elastic-plastic deformation model. To construct synthesis dependencies used multiple regression method and applied universally data processing system tables Excel-2013.

Keywords. Bilayer artificially formed shell, blowing mixture, gas-gen, step of rocks collapse, rock stresses control.

Статья поступила в редакцию 1.06.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским