

UDC 622.278-6

ДО ПИТАННЯ ПЕРЕХОДУ ДИЗ'ЮНКТИВНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ ПІДЗЕМНИМ ГАЗОГЕНЕРАТОРОМ

В. Лозинський¹, Р. Дичковський^{1*}, В. Фальштинський¹, П. Саїк²

¹Кафедра підземної розробки родовищ, Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна

²Департамент гірництва, університет ресурсів, Дніпропетровськ, Україна

*Відповідальний автор: e-mail dichre@yahoo.com, тел. +380562472348, факс: +380562473209

REVISITING POSSIBILITY TO CROSS THE DISJUNCTIVE GEOLOGICAL FAULTS WITH UNDERGROUND GASIFIER

V. Lozynskiy¹, R. Dychkovskiy^{1*}, V. Falshtynskiy¹, P. Saik²

¹Underground Mining Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

²Mining Department, University of Recourses, Dnipropetrovsk, Ukraine

*Corresponding author: e-mail dichre@yahoo.com, tel. +380562472348, fax: +380562473209

ABSTRACT

Purpose. To justify the opportunities to cross the disjunctive geological faults without full coal seam fracturing by underground gasifier, basing on the established time dependencies of underground gasifier output to an effective gasification regime applying the technology of borehole underground coal gasification.

Methods. The changing dependency of time when the underground gasifier reaches the regime of stabilization during underground coal gasification was found with a laboratory experimental unit.

Findings. The dependencies of fault plane amplitude in geological fault on the distance at which the gasifier reaches the regime of stabilization on the total output of combustible gases and their heating value were received. The change of the dependency of the coefficient of gasification enhancement, which is influenced by the thermochemical rate processes in reaction channel of the underground gasifier, is presented. The approach to transfer the results of the experimental investigation in natural conditions based on geometric and time simplifications was offered. The results of the research will allow adjusting the calculation of material and heat balance of the gasification process to determine the optimal qualitative and quantitative composition of injected air.

Originality. The time of underground gasifier reaching the regime of stabilization is determined by the rate of non-fracturing of a coal seam and regulated by the reaction channel advance and balanced supply of reagents blast.

Practical implications. The results of the experimental investigations are precise enough for practical application. They can be used to determine the output parameters allowing the process to reach the regime of stabilization during underground coal gasification. It gives the possibility to expand the use of underground coal gasification technology in geological fracturing zone and can be potentially involved in mine development of substandard coal reserves for energy and chemical generator gas production, chemicals and heat manufacture.

Keywords: borehole underground coal gasification, in situ gasifier, rock mass, combustion face, chemical balance

1. ВСТУП

Вугілля є основним видом органічного палива, яке використовується в енергетиці. За даними World Energy Resources 2013 р. у середньому 60,5% світових збалансованих запасів вугілля знаходиться в складних геологічних умовах, у тому числі і в зонах геологічної порушеності гірського масиву розробка якого дала б змогу збільшити термін його споживання за рахунок додаткового видобування та комплексного використання на наступні 40 – 60 років. Світо-

вий та вітчизняний досвід показує, що видобування вугілля в зонах геологічної порушеності гірського масиву традиційним способом є недоцільним через високу собівартість видобутого вугілля, низьку безпеку працю шахтарів та газодинамічні явища, які мають місце поблизу відповідних зон (Daggupati et al., 2010). Проведений аналіз застосування процесу свердловинної підземної газифікації вугілля вказує на негативні явища, які спостерігаються біля геологічних порушень з великими амплітудами зміщеннями геологічних порушень.

Примечание [V1]: Редакція приймає до розгляду лише статті оформлені відповідно до вимог, що описані нижче: Обсяг тексту: 2000 – 5000 слів. Мови: Стаття може бути подана Англійською, Українською або Російською мовою. Формат файлу: doc.

Примечание [V2]: Структура статті: Назва (не більше 100 знаків); Автори; Приналежність (кафедра або департамент, організація, місто, країна); *Інформація про відповідального автора: (електронна пошта, номер телефону, номер факсу); ABSTRACT англійською мовою (Meta, Методика, Результати, Практична значимість, Наукова новизна, Ключові слова); Основний текст; Включність; Список літератури; Інформація про статтю.

Примечание [V3]: Текст повинен знаходитися в межах друку 210 × 297 мм. Шрифти: Times New Roman, міжрядковий інтервал 1.0; - Заголовок: 12 жирний, прямий шрифт, прописні букви; - Автор(-и) 9 прямий, Приналежність: 9 курсив; Відповідальний автор 9 курсив; - Основний текст: 10 прямий. Ніколи не використовуйте напівжирний і підкреслений текст. Ніколи не використовуйте пропуски між буквами в словах, а також більше одного пропуску між словами.

Примечание [V4]: ABSTRACT (Англійською мовою): Об'єм: 250 – 300 слів. Всі пункти реферату є обов'язковими! Будь ласка, не використовуйте нові абзаци в межах одного рефератного пункту. В рефераті не допустимо робити посилання на рисунки, таблиці та літературу, що містяться в основному тексті. Не менше 5 ключових слів. Після ABSTRACT підготуйте форматування у дві колонки (Ширина колонки – 8.15 см), (Ширина між колонками – 0.7 см).

Примечание [V5]: У ВСТУПІ автори повинні представити: - постановку проблеми; - короткий аналіз останніх досліджень і публікацій; - виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Примечание [V6]: Перший пункт (лише перший): інтервал перед – 0; після – 6. Жирний, прямий шрифт, прописні букви.

Примечание [V7]: Не використовуйте пробіл перед знаком %. В тексті, формулах, рисунках і таблицях використовуйте крапки (ніколи не використовуйте коми).

Примечание [V8]: Для підготовки посилань див. стр. 7 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Зосередження вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах на значній глибині вимагає усебічного перегляду можливостей їх розробки. Виникає необхідність розвитку альтернативних технологій видобування, що базуються на науковому підґрунті, відповідають сучасному розвитку науки та техніки, є економічно вигідними й екологічно безпечними і що саме головне, – відносяться до так званих чистих вугільних технологій (Clean Coal Technology). Такою технологією є свердловинна підземна газифікація вугілля (UCG).

Для умов українського паливно-енергетичного комплексу проведення наукових досліджень і обґрунтування можливості застосування альтернативних технологій є вкрай важливими. Значні запаси кам'яного вугілля можуть бути перетворені в генераторний газ на економічно доцільному рівні, що допоможе вирішити проблеми забезпечення окремих районів енергоносіями та політичні аспекти енергетичної безпеки держави (Bhutto, Bazmi & Zahedi, 2013).

Досягнення останніх десятиріч в області свердловинної підземної газифікації вугілля були отримані завдяки значному інтересу до розвитку альтернативних технологій видобування вугілля, що пов'язано із постійно зростаючим попитом та ціною на енергоносії. Над проблемою розвитку й впровадження екологічно чистої технології підземної газифікації займалися не одне покоління вітчизняних та зарубіжних науковців (Falshtynskiy, Dychkovskiy, Lozynskiy & Saik, 2016).

Особливу увагу в даному питанні заслуговують роботи Бондаренко В.І., Гайко Г.І., Дичковський Р.О., Казак В.Н., Колоколов О.В., Орлов Г.В., Садовенко І.О., Скафа П.В., Стефанік Ю.В., Табаченко М.М., Фальштінський В.С., Yang L., Perkins G., Daggupati S., а також наукових підрозділів компаній «Linc Energy», «Carbon Energy», «Cougar Energy», «Wildhors Energy», (Австралія), «Ergo Energy» (Канада), «Lawrence Livermore National Laboratory», «Carbon County» (США), «ENN Coal Gasification Mining Corporation», «Xinwen Coal Industry Group» (Китай), та ін.

Питання щодо можливості підземної газифікації вугільних пластів з великою кількістю малоамплітудних розривних геологічних порушень без розриву суцільності вугільного пласта, визначення мінімальної відстані між порушеннями, розміри щілин, залишених біля порушень різних типів; вплив геологічних порушень на стійкість експлуатаційних свердловин; втрати тепла і газу біля відповіді і т.д. у даний час є недостатньо вивченими.

Таким чином, існуюча технологія ведення процесу газифікації в зоні малоамплітудних геологічних порушень не достатньо повно відображає сучасні досягнення науки та техніки. Виходячи з проблем, що пов'язані з переходом розривних геологічних порушень, є очевидним, що обґрунтування якісних методів видобування вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах нині є актуальним завданням не лише для України а й інших країн по всьому світі.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Необхідність проведення досліджень на стендових моделях пояснюється потребою ретельного вивчення можливості переходу диз'юнктивного розривного геологічного порушення без розриву суцільності пласта при різних значеннях амплітуди зміщення (Yang, Zhang, Liu, Yu & Zhang, 2008).

Експериментальна стендова установка спроектована на кафедрі підземної розробки родовищ Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» та запатентована. Експериментальна стендова установка побудована НВО «Нафтомаш» за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України. Експериментальна установка змонтована і підготовлена за сприяння технічних служб Донецького електротехнічного заводу.

Керування процесом газифікації на стендовій установці здійснювалося подачею дуття від головного компресора по дуттьовій системі до реакційного каналу. Подача дуття в зону окислення, де протікають екзотермічні реакції з виділенням тепла в реакційний канал і відведення генераторних газів із зони відновлення, де протікають ендотермічні реакції, проводилося з дотриманням розрахункових параметрів матеріально-теплого балансу для забезпечення рівноваги фізичних швидкостей і кінетики хімічних реакцій.

Комбінована подача дуттьової суміші у пульсуючому режимі дала змогу за короткий час перейти з режиму розпалювання в режим газифікації вугілля. У зоні окислення багатозональні хімічні реакції між киснем, що подавався в газогенератор, і вуглецем вугільного пласта прогрівали вугільний пласт до достатньо високої температури, що дозволило забезпечити автотермічність процесу газифікації. Виділене тепло забезпечувало протікання ендотермічних реакцій відновлення CO₂ і розкладання водяної пари (Yang, 2003).

Окислювальна або киснева зона є джерелом енергії та вихідних продуктів для наступного утворення горючих компонентів газу підземної газифікації вугілля. Характерною особливістю підземної газифікації вугілля в реакційному каналі є те, що в окислювальній зоні окрім коксу присутні леткі речовини, а також волога вугілля і порід навколо вугільного пласта.

У ході проведення дослідження реагенти дуття, проходячи через три реакційні зони, формували генераторні гази, до складу яких входили горючі суміші CO, H₂ і CH₄, пропорції яких змінювалися залежно від типу дуття та часу від початку проведення дослідження. Генераторні гази рухалися до виходу з газогенератора уздовж напрямку повітряного потоку, концентрації яких що представлена на Рисунку 1 вимірювалися газоаналізаторами «Gasboard 3200-L» (Perkins & Sahajwalla, 2006).

Оскільки експериментальні дослідження газифікації вугільного пласта містили в себе розпалювання вугілля з наступним пропаленням реакційного каналу і формування окислювальної та відновлювальної зон з поступовим переходом на стабільний режим газифікації, то на Рисунку 1 позначено умовний розподіл між цими процесами.

Примечание [V11]: В цьому пункті автор(-и) повинен(-ні) представити основні результати та пояснення наукових досліджень.

Примечание [V12]: Автор(-и) не повинен (-ні) обмежуватися назвою "ОСНОВНА ЧАСТИНА". Додаткові пункти можуть бути створені. Крім цього цей пункт може бути перейменовані (наприклад – РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ).

Підпункти також можуть бути створені. В такому випадку нумерація буде наступною 2.1, 2.2 і т.д. Форматування основних пунктів: Жирний, прямий шрифт, прописні букви. Інтервал перед – 12; після – 6. Вирівнювання по лівому краю. Форматування підпунктів: Жирний, прямий шрифт, строкові букви. Інтервал перед – 6; після – 3. Вирівнювання по лівому краю.

Примечание [V9]: Скорочення обов'язково повинні бути розшифровані.

Примечание [V10]: Перед ініціалами повинен стояти нерозривний пробіл.

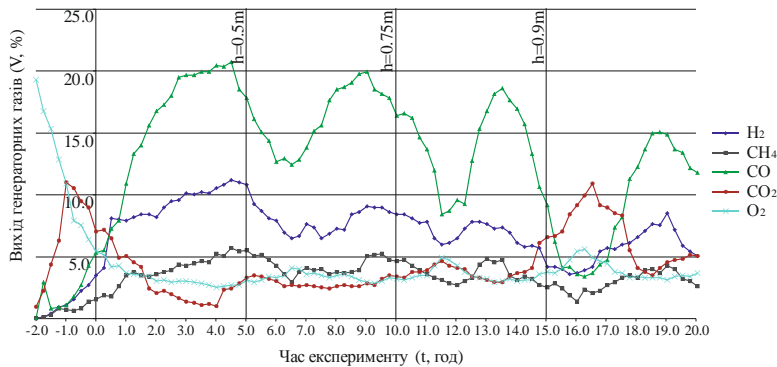


Рисунок 1. Графік виходу генераторних газів впродовж експерименту

Оскільки експериментальні дослідження газифікації містили в собі розпалювання вугілля з наступним пропаленням реакційного каналу і формування окислювальної та відновлювальної зон з поступовим переходом на стабільний режим, то на Рисунок 1 позначено умовний розподіл між цими процесами.

Після п'яти годин ефективного проведення процесу газифікації відбулося зниження всіх показників горючих газів, що свідчило про наближення до диз'юнктиву та порушення матеріально-теплового балансу. Такий розвиток розгортання експерименту зумовив переведення процесу газифікації на ручний режим керування. Відбувалося поступове зменшення кількості подачі дуття в зону реакційного каналу, для запобігання утворення високої концентрації непрореагованого кисню у відновлювальній зоні.

Після стабілізації вигазовування процес перейшов у плановий режим газифікації. Впродовж експерименту, з певним кроком, такий скачкоподібний ефект спостерігався тричі. Готовність до розвитку таких подій дала змогу завчасно підготувати низку заходів щодо попередження виникнення аварійних ситуацій. Відношення CO/CO₂ в генераторному газі залежить від кінетичних і гідродинамічних умов горіння вуглецю і значним чином впливає не лише на процес газоутворення, але і на інтенсивність витрат кисню та відповідно простягання окислювальної зони.

Упродовж всього експерименту спостерігалася висока концентрація CO в генераторному газі по відношенню до CO₂, яка пояснюється доволі ефективним протіканням хімічних реакцій під дією високих температур в окислювальній зоні і малою кількістю водяної пари, а поступове зменшення O₂ свідчить про збалансовану кількість подачі дуття. Винятком становлять зони, де відбувався перехід геологічних порушень, тут спостерігається різке зменшення валового горючого газу та збільшення димових газів. Особливо це стосується перехідної зони III – IV в якій на 16 год 30 хв від початку газифікації концентрація CO₂ досягла 10.5% [1.3%, а O₂ – 5.6%. Утворення так званого пониження CO приблизно співпадає з наявністю геологічних порушень, хоча існує деяка розбіжність з розрахунковими параметрами.

Аналізуючи різке зменшення концентрацій CO, слід зазначити, що так звані пониження процентного вмісту монооксиду вуглецю відбуваються перед диз'юнктивним зміщувачем геологічного порушення, оскільки газифікація вугільного пласта відбувається не лише по довжині реакційного каналу. В масиві пласта перпендикулярно реакційному каналу утворюються хімічні зони окислення, відновлення та підсушування. Порушення цих зон спричиняє порушення матеріально-теплового балансу, що в свою чергу погіршує показники виходу горючих генераторних газів.

Зниження якісного та кількісного складу генераторного газу відбувається при варіюванні потужності вугільного пласта, в тому числі і за наявності диз'юнктивного порушення. Геологічні аномалії суттєво впливають на перерозподіл теплообміну у реакційному каналі впливаючи на вихідну концентрацію генераторних газів. Проводячи паралель між концентрацією отриманих горючих та негорючих генераторних газів (Рис. 1) спостерігається заміщення одних іншими. В зоні I зменшення концентрації H₂, CH₄ та CO розпочалося о 4 год 45 хв, в зоні II – о 9 год 15 хв, а у зоні III – о 13 год 45 хв від початку процесу газифікації вугільного пласта.

Підтвердження лінійної швидкості посування вогневого вибою дало змогу провести аналіз часових рамок переходу геологічного порушення підземним газогенератором з виходом останнього на ефективний режим вигазовування по отриманих даних сумарного виходу горючих генераторних газів та їх теплоти згоряння (Рис. 2).

Визначення часу виходу газогенератора на ефективний режим роботи вимагало поетапного виконання аналізу даних експерименту. Такий аналіз проводився по сумарному виходу газів. Слід зазначити, що процес є ефективним та проходить в стабільному режимі при умові сумарного виходу горючих газів понад 25 % або при його теплоті згоряння понад 4 МДж/м³. Оскільки фіксація процентного вмісту генераторних газів відбувалася з інтервалом у 15 хв, то в такому випадку, для більш точного визначення моменту переходу газогенератора на ефективний режим роботи по виходу генераторних газів t_V знайдемо за формулою:

Примечание [V13]: Назва рисунку 9 жирним, курсивним шрифтом (Інтервали: перед – 6, після – 12). Назва рисунку формується наступним чином: "Рисунок 1. Назва". В кінці назви не повинна стояти крапка. Назва вирівнюється по центру, якщо опис короткий (менше одного рядка). Якщо назва рисунку більше одного рядка – див. Рисунок 3. Рисунок повинен бути зрозумілим і читабельним. Допускається і схвалюється використання кольорових рисунків. Легенда(-и) повинна(-и) бути розміщена(-ні) на рисунку. Ні в якому разі легенда(-и) не можуть бути розміщена(-ні) в назві рисунку. Використовуйте шрифт Times New Roman для позначень і тексту на рисунку. (Розмір тексту: не менше 8 і не більше 10). Координати осей на графіку повинні бути обов'язково названі (див. Рис. 1).

Примечание [V14]: Використовуйте тире з нерозривними пробілами по обидві сторони для вираження інтервалу чи діапазону (не використовуйте дефіс).

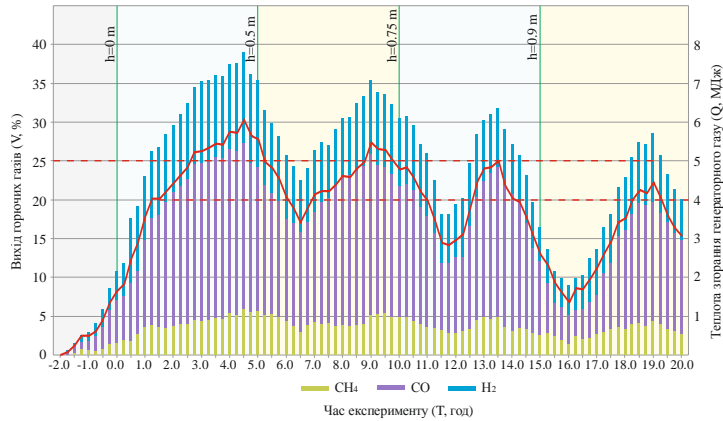


Рисунок 2. Сумарний вихід горючих генераторних газів та їх теплота згорання впродовж експерименту

$$\bar{t}_V = \left[t_1 + \left(\frac{t_2 - t_1}{100} \right) \cdot \frac{25 - \sum C, n_{пу} t_1}{\sum C, n_{пу} t_2 - \sum C, n_{пу} t_1} \cdot 100 \right] - t \quad (1)$$

де:

t_1 – найближчий фіксований час, при якому значення сумарного виходу горючих генераторних газів становило $\geq 25\%$;

t_2 – найближчий фіксований час, при якому значення сумарного виходу горючих генераторних газів становило $\geq 25\%$;

t_3 – розрахунковий час переходу змішувача ди-зюктивного геологічного порушення.

Наступним етапом виконання аналізу даних експерименту було визначення фактичного часового моменту переходу експериментального газогенера-тора на ефективний режим роботи по теплоті згорян-ня газу \bar{t}_Q , що проводилося на основі (1) за наступ-ною формулою:

$$\bar{t}_Q = \left[t_1 + \left(\frac{t_2 - t_1}{100} \right) \cdot \frac{4 - Q, n_{пу} t_1}{Q, n_{пу} t_2 - Q, n_{пу} t_1} \cdot 100 \right] - t_3, \quad (2)$$

де:

t_1 – найближчий фіксований час при якому зна-чення теплоти згорання генераторного газу станови-ло ≤ 4 МДж/м³;

t_2 – найближчий фіксований час, при якому зна-чення теплоти згорання газу становило ≥ 4 МДж/м³.

Теплота згорання генераторного газу Q дорівнює сумі теплоти згорання газоподібних горючих складо-вих: CO, H₂, CH₄. Для визначення теплоти згорання використаємо наступну формулу:

$$Q_{z.g} = \frac{127.7 \cdot CO + 108 \cdot H_2 + 356 \cdot CH_4}{1000}, \quad (3)$$

де:

CO, H₂, CH₄ – процентний вміст відповідного ге-нераторного газу.

У Таблиці 1 наведено основні параметри, по яких відбувався розрахунок \bar{t}_V та \bar{t}_Q для амплітуд змі-шувача, що розглядаються у визначений час.

Таблиця 1. Основні параметри та результати розрахунку \bar{t}_V та \bar{t}_Q

Амплітуда змішувача, м	Час, год	Вихід генераторних газів, %					Теплота згоран-ня генераторного газу, МДж/м ³	Вихід газогенератора на ефективний режим виготовування, год	
		H ₂ [*]	CH ₄ [*]	CO [*]	Σ	\bar{t}_V		\bar{t}_Q	
0	t_1	1.00	8.2	3.6	11.3	23.1	3.61	1.09	1.13
	t_2	1.25	8.5	3.9	13.8	26.2	4.07		
0.5	t_1	6.75	6.9	3.9	13.3	24.1	3.83	1.67	1.72
	t_2	7.00	7.9	4.2	14.3	26.4	4.17		
0.75	t_1	12.50	8.1	3.4	13.2	24.7	3.77	2.31	2.20
	t_2	12.75	8.1	4.5	15.9	28.5	4.51		
0.9	t_1	18.00	6.8	3.4	12.7	22.9	3.57	3.07	3.14
	t_2	18.25	7.3	4.0	14.2	25.5	4.03		

* Горючі гази.

Примечание [V15]: Для написання формул використовуйте Microsoft Equation 2003. (Використання інших редакторів у тому числі версії 2007 чи вище, не допускається)

Параметри Microsoft Equation:

Звичайний: 10
Великий індекс: 8
Малий індекс: 7
Великий символ: 10
Малий символ: 8

Стиль:

Текст: Times, курсив
Функція: Times
Змінна: Times, курсив
Стр. Грецькі: Symbol, курсив
Пр. Грецькі: Symbol, курсив
Символ: Symbol
Матриця вектор: Times, курсив
Числа: Times

Вирівнювання формул по лівому краю.
Не використовуйте круглі дужки з клавіатури (допускається використання лише з меню Microsoft Equation).
Нумеруйте всі рівняння послідовно. Нумерація рівнянь у круглих дужках з правої сторони.
Після формули використовуйте кому або крапку, якщо фор-мула не має опису.

Примечание [V16]: Помістіть “де:” з лівої сторони.

Примечание [V17]: Опис нових символів повинен бути розшищений з нового рядка з відступом 0.5 мм (новий абзац). Завжди використовуйте редактор Microsoft Equation.

Примечание [V18]: Після опису нового символу викорис-товуйте крапку з комою або крапку, якщо опис закінчено.

Примечание [V19]: Посилання на формули в тексті має бути в круглих дужках.

Примечание [V20]: Назва таблиці 9 жирним, курсивним шрифтом (Інтервали: перед – 6, після – 3). Назва таблиці формується наступним чином: “Таблиця 1. Назва”
В кінці назви не повинна стояти крапка.
Назва вирівнюється по центру якщо займає менше одного рядка.
Якщо назва таблиці більше одного рядка, повинно бути вирівнювання по ширині. Другий та наступні рядки повинні бути з відступом 1.6 см.

Розміщуйте таблиці якнайближче до посилання і нумеруйте їх послідовно. Уникайте скорочень в заголовках стовпців. Та-кож слід уникати приміток. Позначення до назв стовпців, якщо вони присутні, вказуються під назвою.
Використовуйте лише горизонтальні лінії: одну зверху і одну знизу під назвою стовпців, і одну в кінці таблиці.
Розмір шрифту в таблиці – 9.

Примечание [V21]: Примітки надається під таблицею (в жодному разі не в межах таблиці).
В таблиці повинні використовуватися наступні знаки виносок: *, **, і т.д.

Враховуючи, що даній моделі відповідає довжина газогенератора в натурі $l_{z,z}^H = 36$ м то час на вигазовування даного стовпа становитиме $t_y = 400$ год, при аналогічній швидкості посування вогневого вибою.

Для зручності здійснення аналізу експериментального дослідження проведемо розрахунок необхідної швидкості вигазовування вугілля для співставлення часу вигазовування моделі газогенератора t_x і газогенератора в натурі t_y та t_z .

Наведемо часові та геометричні перетворення у системі рівнянь:

$$\begin{cases} l_{z,z}^M \rightarrow t_x, \text{ при } V_1 \\ l_{z,z}^H \rightarrow t_y = \frac{l_{z,z}^H}{V_1}, \text{ при } V_1, \\ l_{z,z}^H \rightarrow t_z, \text{ при } V_2 \end{cases} \quad (4)$$

де $t_z = t_x \cdot \frac{\text{доб}}{\text{год}}$, тоді $V_2 = \frac{l_{z,z}^H}{t_z}$.

У даній системі рівнянь часові та геометричні рамки розраховуються із змінними величинами для можливості співставлення числових значень x та z . Провівши розрахунок, отримаємо значення швидкості вигазовування газогенератора в натурі 7,5 см/год, а загальний час вигазовування $t_z = 20$ діб.

Висновок щодо повноти дотримання подібності природи та моделі дає розрахунок критерію гомохронності, тобто постійної часової подібності у процесях. Крім цього враховувалися інваріанти та симплекси подібності термохімічних процесів.

Тепер ми маємо змогу отримати залежності впливу амплітуди зміщувача геологічного порушення на відстань, при якій підземний газогенератор переходить на ефективний режим роботи по теплоті згоряння та сумарному виходу генераторних газів (Рис. 3).

$$l_{z,z}^M \rightarrow t_x = l_{z,z}^H \rightarrow t_z \Leftrightarrow t_x = t_z. \quad (5)$$

Відповідно $l_{IV}^- = \frac{l_{z,z}^H}{t_z} \cdot \bar{t}_V$, а $l_{IQ}^- = \frac{l_{z,z}^H}{t_z} \cdot \bar{t}_Q$.

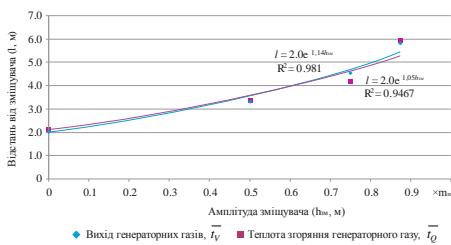


Рисунок 3. Залежність впливу амплітуди зміщувача на відстань, при якій газогенератор переходить на ефективний режим роботи

Високий ступінь збіжності кривих \bar{t}_V та \bar{t}_Q (Рис. 3) дає нам змогу визначити відстань від зміщувача l при подоланні якої підземний газогенератор перейде на ефективний режим роботи:

$$l = 1,9e^{1,1 \cdot h_{зм}}. \quad (6)$$

Безперечним є те, що час подолання певної відстані підземним газогенератором може корегуватися швидкістю посування вогневого вибою. Таким чином, коефіцієнт інтенсифікації вигазовування k_g , характеризуватиме зміну швидкості посування вогневого вибою. В результаті інтенсифікації вигазовування вугільного пласта є змога за короткий час перейти на ефективний режим газифікації, проте такі заходи вимагають додаткових технічних впроваджень в режим роботи газогенератора.

3. ВИСНОВКИ

Різне зменшення процентного вмісту концентрацій горючих генераторних газів відбувається перед диз'юнктивним зміщувачем геологічного порушення.

Час виходу підземного газогенератора t на ефективний режим роботи, що визначається за допомогою сумарного виходу генераторного газу та теплоти його згоряння, при переході диз'юнктивного геологічного порушення з амплітудою зміщення диз'юнктиву до 0,9 потужності вугільного пласта за експоненціальною залежністю залежить від амплітуди зміщувача $h_{зм}$ та швидкості посування вогневого вибою $V_{g,в}$.

Інтенсивність переходу зон геологічних порушень пов'язана із збалансованою подачею реагентів дуття, відповідно, враховуючи геометричну неоднорідність вугільного пласта, необхідно проводити перерахунок матеріально-теплого балансу та здійснювати перехід на ручний режим ведення процесу газифікації.

Ефективним у подальшому, на думку авторів, є проведення аналогічних досліджень методом комп'ютерного моделювання для підтвердження чи спростування результатів проведених стендових експериментальних досліджень. Крім цього необхідно провести детальне вивчення ділянок вугільних пластів, залишених після експлуатації шахт, підземна розробка яких традиційним способом неефективна й недоцільна і які за розширеними критеріями придатність можуть бути придатні до СППВ.

ВДЯЧНІСТЬ

Дана робота була б неможлива без підтримки Європейського фонду вугілля і сталі "Research Fund for Coal and Steel". Додаткова фінансова підтримка забезпечувалася при виконанні міжнародного проекту HUGE "Hydrogen oriented underground coal gasification for Europe", contract number RFCR-CT-2007-00006, project duration 01.07.2007 – 30.06.2010 (Воднево орієнтована підземна газифікація вугілля для Європи). Автори роботи виражають вдячність професору Головного Інституту Гірництва Криштофу Станіславу та Станіславу Прусеку за підтримку у проведенні досліджень на території інституту.

Примечание [V23]: Висновки повинні бути представленні в короткій формі, описуючи найважливіші результати роботи, а також погляди автора(-ів) на практичне застосування результатів.

Примечание [V24]: Вдячність: наприклад науковцям за консультації; гранту; фонду (найменування, номер, тип проекту) повинні бути розміщені в окремому розділі перед списком літератури. Назви організацій повинні бути написані повністю. Якщо результати статті отриманні без підтримки будь-якого з проектів чи фінансування то це також необхідно відзначити. Також Ви можете висловити вдячність організації, лабораторії, установі і т.д., які в тій чи іншій мірі причетні до публікації Вашої роботи.

Примечание [V22]: Якщо назва рисунку більше одного рядка, повинно бути вирівнювання по ширині. Другий та наступні рядки повинні бути з відступом 1.6 см. Якщо вам потрібно в описі рисунку представити додаткову інформацію, то використовуйте наступний порядок: Рисунок 3. Назва рисунку: 1 – опис; 2 – опис; і.т.д

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Bhutto, A., Bazmi, A., & Zahedi, G. (2013). Underground coal gasification: From fundamentals to applications. *Progress In Energy And Combustion Science*, 39(1), 189-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.peccs.2012.09.004>
- Falshtynskiy, V., Dychkovskiy, R., Lozyskiy, V., & Saik, P. (2016). Justification of the gasification channel length in underground gas generator. *Annual Scientific-Technical Collection - Mining Of Mineral Deposits 2013*, 125-132.
- Daggupati, S., Mandapati, R., Mahajani, S., Ganesh, A., Mathur, D., Sharma, R., & Aghalayam, P. (2010). Laboratory studies on combustion cavity growth in lignite coal blocks in the context of underground coal gasification. *Energy*, 35(6), 2374-2386. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.02.015>
- Yang, L., Zhang, X., Liu, S., Yu, L., & Zhang, W. (2008). Field test of large-scale hydrogen manufacturing from underground coal gasification (UCG). *International Journal Of Hydrogen Energy*, 33(4), 1275-1285. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.12.055>
- Perkins, G., & Sahajwalla, V. (2006). A Numerical Study of the Effects of Operating Conditions and Coal Properties on Cavity Growth in Underground Coal Gasification. *Energy & Fuels*, 20(2), 596-608. <http://dx.doi.org/10.1021-ef050242q>
- Yang, L. (2003). Clean coal technology – Study on the pilot project experiment of underground coal gasification. *Energy*, 28(14), 1445-1460. [http://dx.doi.org/10.1016-s03605442\(03\)00125-7](http://dx.doi.org/10.1016-s03605442(03)00125-7)

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Обґрунтування можливості переходу диз'юнктивних геологічних порушень без розриву суцільності вугільного пласта підземним газогенератором, виходячи із встановлених залежностей зміни часу виходу підземного газогенератора на ефективний режим вигазовування при застосуванні технології свердловинної підземної газифікації вугілля.

Методика. Стендовими експериментальними дослідженнями встановлені залежності зміни часу виходу підземного газогенератора на ефективний режим вигазовування при підземній газифікації вугілля.

Результати. Отримані залежності впливу амплітуди зміщувача геологічного порушення на відстань при якій газогенератор переходить на ефективний режим вигазовування по сумарному виходу горючих генераторних газів та їх теплоти згорання. Представлена залежність зміни коефіцієнта інтенсифікації вигазовування, що залежить від кінетики протікання термохімічних реакцій в реакційному каналі підземного газогенератора. Запропонований підхід до перенесення результатів стендових експериментальних досліджень в натурні умови на основі геометричних та часових спрощень. Результати досліджень дадуть змогу внести корективи в розрахунок матеріально-теплого балансу процесу газифікації для визначення оптимального якісного та кількісного складу дуттьової суміші.

Наукова новизна. Час виходу підземного газогенератора на ефективний режим вигазовування визначається ступенем нерозривності вугільного пласта та регулюється швидкістю посування вогневого вибою і збалансованою подачею реагентів дуття.

Практична значимість. Отримані результати стендових експериментальних досліджень із достатньою для практичного застосування точністю можуть використовуватися для визначення параметрів виходу підземного газогенератора на ефективний режим вигазовування, дають можливість розширити область застосування технології свердловинної підземної газифікації вугілля в зонах геологічної порушеності гірського масиву та в перспективі залучати до відпрацювання неконденційні поклади кам'яного вугілля для отримання енергетичного та хімічного генераторного газу, хімічних продуктів та теплової енергії.

Ключові слова: *стендові дослідження, диз'юнктивні геологічні порушення, підземний газогенератор*

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Обоснование возможности перехода дизъюнктивных геологических нарушений без разрыва сплошности угольного пласта подземным газогенератором, исходя из установленных зависимостей изменения времени выхода подземного газогенератора на эффективный режим вигазовывания при применении технологии скважинной подземной газификации угля.

Методика. Стендовыми экспериментальными исследованиями установлены зависимости изменения времени выхода подземного газогенератора на эффективный режим вигазовывания при подземной газификации угля.

Результаты. Полученные зависимости влияния амплитуды сместителя геологического нарушения на расстояние, при котором газогенератор переходит на эффективный режим вигазовывания по суммарному выходу горючих генераторных газов и их теплоты сгорания. Представлена зависимость изменения коэффициента интенсификации вигазовывания который зависит от кинетики протекания термохимических реакций в реакционной канале подземного газогенератора. Предложен подход к переносу результатов стендовых экспериментальных исследований в натурные условия на основе геометрических и временных упрощений. Результаты исследований позволяют внести коррективы в расчет материально-теплого баланса процесса газификации для определения оптимального качественного и количественного состава дутьевой смеси.

Научная новизна. Время выхода подземного газогенератора на эффективный режим вигазовывания определяется степенью неразрывности пласта и регулируется скоростью подвигания огневого забоя и сбалансированной подачей реагентов дутья.

Практическая значимость. Полученные результаты стендовых экспериментальных исследований, с достаточной для практического применения точностью, могут использоваться для определения параметров выхода подземного газогенератора на эффективный режим вигазовывания, дают возможность расширить область применения технологии скважинной подземной газификации угля в зонах геологического нарушения горного мас-

Примечание [V25]: Список літератури повинен бути складений відповідно до правил APA (name-date method). При створенні літератури відповідно до правил APA використовуйте безкоштовний онлайн сервіс - <https://www.citethisforme.com/>. З послідовністю використання онлайн сервісу можна ознайомитись [тут](http://tut).

Всі джерела, цитовані в тексті, повинні бути відображені у списку літератури. Сортування літератури за алфавітом. Література не повинна бути згрупована як друкована чи електронна.

У кожному разі не дописуйте у список літератури посилання на публікації, що не мають відношення до Вашої статті. Бібліографічні дані публікацій на українській, російській, грецькій, китайській, японській і т.д., повинні транслітеруватись латиницею (не перекладатися). В списку літератури представити лише посилання латиницею.

При транслітерації літератури з української мови використовуйте безкоштовний онлайн сервіс: <http://www.slovnkyk.ua/services/translit.php> при транслітерації літератури з російської мови - <http://fotosav.ru/services/transln.aspx>

Шрифт 9. Якщо стаття має doi., то його також необхідно вказати.

Кожне посилання починається з нового рядка, другий і наступні рядки повинні мати відступ 0,5 мм.

Немає жодних обмежень до кількості посилань (завичай не менше 8).

Однак Ви повинні робити посилання на публікації, які знаходяться в базі даних SCOPUS або Web of Science не менше 66% від загального числа посилань.

Самопосилання не повинні перевищувати 15% від загального числа посилань.

Примечание [V26]: ABSTRACT українською мовою не повинен відрізнятися від англійської версії (за виключенням особливостей технічного перекладу). Всі пункти ABSTRACT є обов'язковими.

Примечание [V27]: ABSTRACT російською мовою не повинен відрізнятися від англійської та української версії (за виключенням особливостей технічного перекладу). Всі пункти ABSTRACT є обов'язковими.

сива и в перспективе привлекать к отработке некондиционные залежи каменного угля для получения энергетического и химического генераторного газа, химических продуктов и тепловой энергии.

Ключевые слова: стендовые исследования, дизъюнктивные геологические нарушения, подземный газогенератор

ARTICLE INFO

Received: 1 January 2016

Accepted: 1 January 2016

Available online: 1 January 2016

ABOUT AUTHORS

Vasyl Lozynskiy, Candidate of Technical Science, Assistant Lecturer of the Underground Mining Department, National Mining University, K. Marks av.19, 4/61, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: lvgnmu@gmail.com

Roman Dychkovskiy, Doctor of Technical Science, Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, K.Marks av.19, 4/61, 49006, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: dichre@yahoo.com

Volodymyr Falshtynskiy, Candidate of Technical Science, Associate professor of the Underground Mining Department, National Mining University, K.Marks av.19, 4/62, 49006, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: fvs@yahoo.com

Pavlo Saik, Candidate of Technical Science, Assistant Lecturer of the Underground Mining Department, National Mining University, K.Marks av.19, 4/63, 49006, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: saik.pb@i.ua

Примечание [V28]: Редакція журналу відповідає за оформлення додаткової інформації та відомостей про авторів.

Примечание [V29]: При написанні ПІБ використовується паспортну транслітерацію (КМУ 2010) з української мови <http://www.slovnkyk.ua/services/translit.php>

Примечание [V30]: Використання символів та одиниць. Консистенція стилю дуже важлива. Зверніть увагу на відступи, знаки пунктуації та прописні літери у наведених нижче прикладах:

– Посилання в тексті: Рисунок 1, Рисунок 1 – 3, 7, 9а, б (не скорочується)

– Посилання між дужками: (Рис. 1), (Рис. 1 – 3, 7, 9а, б) (скорочується)

– США замість С.Ш.А.

Завжди використовуйте офіційні одиниці системи СІ:

– кг / м / кДж / см замість кг. / (Кг) / м. / кДж. / КДж. / см.

– 18°22'50"ПШ замість 18° 22' 50" ПШ

– 0,82 замість 0,82

– н.е / до н.е / і т.д. / напр. / обл. /р. / рр.

– 25 замість ×25 / X25 / x 25;

– 2 + 3 > 4 замість 2+3>4

– але –7 / +7 замість – 7 / + 7

– “Текст...” замість «Текст...»