

К ВОПРОСУ ПЕРЕХОДА ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ ГАЗОГЕНЕРАТОРМ

В. Лозинский¹, Р. Дичковский^{1*}, В. Фальштинский¹, П. Саик²

¹Кафедра подземной разработки месторождений, Национального горного университета, Днепрпетровск, Украина

²Департамент горного дела, университет ресурсов, Днепрпетровск, Украина

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

REVISITING POSSIBILITY TO CROSS THE DISJUNCTIVE GEOLOGICAL FAULTS WITH UNDERGROUND GASIFIER

V. Lozynskyi¹, R. Dychkovskyi^{1*}, V. Falshtynskyi¹, P. Saik²

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

²Mining Department, University of Resources, 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 працюючих 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]: Редакция принимает к рассмотрению только статьи, оформленные в соответствии с требованиями, описанными ниже:

Объем текста: 2000 – 5000 слов.

Языки: статья может быть подана на Английском, Украинском или Русском языке.

Формат файла: doc.

Примечание [V2]: Структура статьи:

Название (не больше 100 знаков);

Авторы;

Принадлежность (кафедра или департамент, организация, город, страна);

*Информация об ответственном авторе: (электронная почта, номер телефона, номер факса);

ABSTRACT на английском языке (Цель, Методика, Результаты, Практическая значимость, Научная новизна, Ключевые слова);

Основной текст;

Благодарность;

Список литературы;

Информация о статье.

Примечание [V3]: Текст должен находиться в пределах печати

210 × 297 мм.

Шрифты:

Times New Roman, межстрочный интервал 1.0;

- Заголовки: 12 жирный, прямой шрифт, прописные буквы;

- Автор(ы) 9 прямой, Принадлежность: 9 курсив; Ответственный автор 9 курсив;

- Основной текст: 10 прямой.

Никогда не используйте полужирный и подчеркнутый текст.

Никогда не используйте пропуски (пробелы) между буквами в словах, а также более одного пропуска (пробела) между словами.

Примечание [V4]: ABSTRACT (на Английском языке):

Объем: 200 – 300 слов.

Все пункты реферата являются обязательными!

Пожалуйста, не используйте новые абзацы в пределах одного рефератного пункта.

В реферате не допустимо делать ссылки на рисунки, таблицы и литературу, содержащиеся в основном тексте.

Не менее 5 ключевых слов.

После ABSTRACT подготовьте форматирование в две колонки (Ширина колонки – 8.15 см), (Ширина между колонками – 0.7 см).

Примечание [V5]: Во ВВЕДЕНИИ авторы должны представить:

- постановку проблемы;

- краткий анализ последних исследований и публикаций;

- выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Примечание [V6]: Первый пункт (только первый): интервал перед – 0; после – 6. Жирный, прямой шрифт, прописные буквы.

Примечание [V7]: Не используйте пробел перед знаком %. В тексте, формулах, рисунках и таблицах используйте точки (никогда не используйте запятые).

Примечание [V8]: Для подготовки ссылок смотрите стр. 7 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Зосередження вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах на значній глибині вимагає устороннього 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 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 (Falshtyn's'kyu, Dychkov's'kyu, Lozyn's'kyu & 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., Фальштинський В.С., Yang L., Perkins G., Daggupati S., а також наукових підрозділів компаній «Linc Energy», «Carbon Energy», «Cougar Energy», «Wildhorns 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 ціликів, 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 нових 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 собі 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 этом пункте автор (-ы) должен (-ны) представить основные результаты и объяснения научных исследований.

Примечание [V12]: Автор (-ы) не должен (-ны) ограничиваться названием "ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ". Дополнительные пункты могут быть созданы. Кроме этого этот пункт может быть переименован (например РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ). Подпункты также могут быть созданы. В таком случае нумерация будет следующей: 2.1, 2.2 и т.д. Форматирования основных пунктов: Жирный, прямой шрифт, прописные буквы. Интервал перед – 12; после – 6. Выравнивание по левому краю. Форматирования подпунктов: Жирный, прямой шрифт, строчные буквы. Интервал перед – 6; после – 3. Выравнивание по левому краю.

Примечание [V9]: Сокращения обязательно должны быть расшифрованы.

Примечание [V10]: Перед инициалами должен стоять неразрывный пробел.

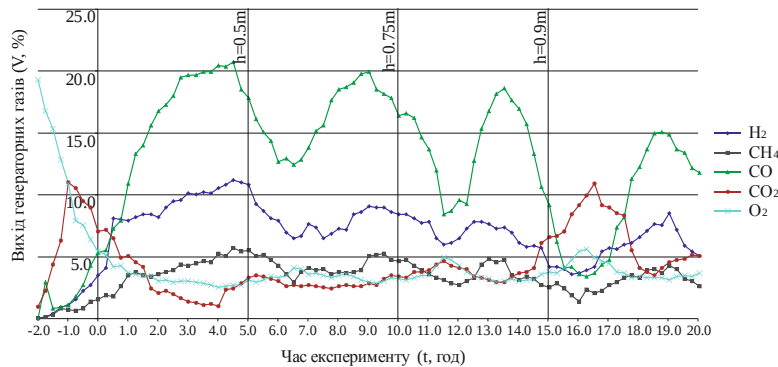


Рисунок 1. Графік виходу генераторних газів впродовж експерименту

Оскільки експериментальні дослідження газифікації містили в себе 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-теплого 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/CO_2 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 протігання окислювальної зони.

Упродовж всього експерименту спостерігалася висока концентрація CO в генераторному газі по відношенню до CO_2 , яка пояснюється доволі ефективним протіканням хімічних реакцій під дією високих температур в окислювальній зоні і малою кількістю водяної пари, а поступове зменшення O_2 свідчить про збалансовану підготовити низку заходів щодо попередження виникнення аварійних ситуацій. Виняток 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 CO_2 досягла 10.5 – 1.3%, а O_2 – 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-теплого 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 H_2 , CH_4 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 просування 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]: Название рисунка 9 жирным, курсивным шрифтом (Интервалы: перед – 6, после – 12). Название рисунка формируется следующим образом: “Рисунок 1. Название”
В конце названия не должна стоять точка.
Название выравнивается по центру, если описание короткое (меньше одной строки).
Если название рисунка больше одной строки – см. Рисунок 3. Рисунок должен быть понятным и читаемым. Допускается и приветствуется использование цветных рисунков.
Легенда (-ы) должна (-ы) быть размещена (-ны) на рисунке. Ни в коем случае легенда (-ы) не может (-гут) быть размещена (-ны) в названии рисунка.
Используйте шрифт Times New Roman для обозначений и текста на рисунке. (Размер текста: не менее 8 и не более 10).
Координаты осей на графике должны быть обязательно названы (см. Рис. 1).

Примечание [V14]: Используйте тире с неразрывными пробелами по обе стороны для выражения интервала или диапазона (не используйте дефис).

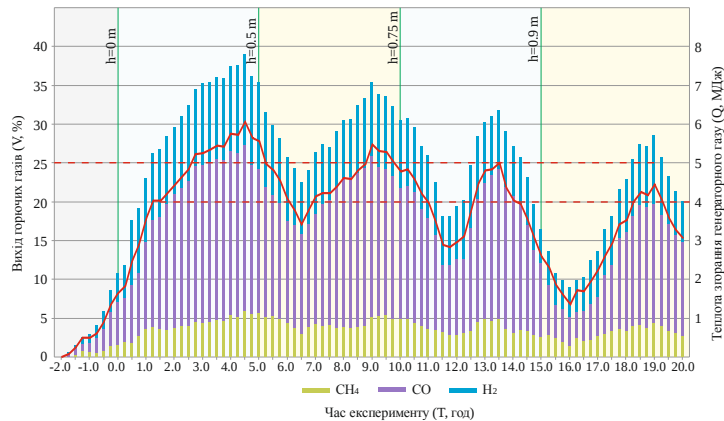


Рисунок 2. Сумарний вихід горючих генераторних газів та їх теплота згоряння впродовж експерименту

$$\overline{t_V} = \left[t_1 + \left(\frac{t_2 - t_1}{100} \right) \cdot \frac{25 - \sum C, \text{нпу } t_1}{\sum C, \text{нпу } t_2 - \sum C, \text{нпу } t_1} \cdot 100 \right] - t \quad (1)$$

де: t_1 – найближчий фіксований час, при якому значення теплоти згоряння генераторного газу становило ≤ 4 МДж/м³;

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 $\overline{t_Q}$, що проводилося на основі (1) за наступ-ною формулою:

$$\overline{t_Q} = \left[t_1 + \left(\frac{t_2 - t_1}{100} \right) \cdot \frac{4 - Q, \text{нпу } t_1}{Q, \text{нпу } t_2 - Q, \text{нпу } t_1} \cdot 100 \right] - t_3, \quad (2)$$

де: t_1 – найближчий фіксований час, при якому значення теплоти згоряння генераторного газу становило ≤ 4 МДж/м³;

t_2 – найближчий фіксований час, при якому значення теплоти згоряння газу становило ≥ 4 МДж/м³.

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

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

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

У Таблиці 1 наведено основні параметри, по яких відбувався розрахунок $\overline{t_V}$ та $\overline{t_Q}$ для амплітуд змі-шувача, що розглядаються у визначений час.

Таблиця 1. Основні параметри та результати розрахунку $\overline{t_V}$ та $\overline{t_Q}$

Амплітуда змішувача, м	Час, год	Вихід генераторних газів, %					Теплота згоряння генераторного газу, МДж/м ³	Вихід газогенератора на ефективний режим вигазовування, год	
		H ₂ *	CH ₄ *	CO*	Σ			$\overline{t_V}$	$\overline{t_Q}$
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 написания формул используйте Microsoft Equation 2003. (Использование других редакторов, в том числе версии 2007 или выше, не допускается).

Параметры Microsoft Equation:

Обычный: 10

Крупный индекс: 8

Мелкий индекс: 7

Крупный символ: 10

Мелкий символ: 8

Стиль:

Текст: Times New Roman, наклонный

Функция: Times New Roman

Переменная: Times New Roman, наклонный

Стр. Греческие: Symbol, наклонный

Пр. Греческие: Symbol, наклонный

Символ: Symbol

Матрица вектор: Times New Roman, наклонный

Числа: Times New Roman

Выравнивание формул по левому краю.

Не используйте круглые скобки с клавиатуры (допускается

использование только из меню Microsoft Equation).

Нумеруйте все уравнения последовательно. Нумерация урав-

нений в круглых скобках с правой стороны. После формулы

используйте запятую или точку, если формула не имеет опи-

сания.

Примечание [V16]: Разместите “где:” с левой стороны.

Примечание [V17]: Описание новых символов должно

быть размещено с новой строки с отступом 0.5 мм (новый

абзац).

Всегда используйте редактор Microsoft Equation.

Примечание [V18]: После описания нового символа ис-

пользуйте точку с запятой или точку, если описание законче-

но.

Примечание [V19]: Ссылка на формулы в тексте должна

быть в круглых скобках.

Примечание [V20]: Название таблицы 9 жирным, курсив-

ным шрифтом (Интервалы: перед – 6, после – 3).

Название таблицы формируется следующим образом: “Таб-

лица 1. Название”.

В конце названия не должна стоять точка.

Название выравнивается по центру, если занимает меньше

одной строки.

Если название таблиц длинное (больше одной строки), долж-

но быть выравнивание по ширине. Вторая и последующие

строки должны быть с отступом 1.6 см.

Размещайте таблицы как можно ближе к ссылке и нумеруйте

их последовательно. Избегайте сокращений в заголовках

столбцов. Также следует избегать примечаний. Обозначения к

названиям столбцов, если они присутствуют, указываются

под названием.

Используйте только горизонтальные линии: одну сверху и

одну снизу под названием столбцов, и одну в конце таблицы.

Размер шрифта в таблице – 9.

Примечание [V21]: Примечания приводятся под таблицей

(ни в коем случае не в пределах таблицы).

В таблице должны использоваться следующие знаки сносок:

*, ** и 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:

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

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

У даній системі рівнянь часові та геометричні рами 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 процесах. Крім цього враховувалися інваріанти та симплекси подібності термохімічних процесів.

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

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

$$\text{Відповідно } l_{t_V}^H = \frac{l_{z,z}^H}{t_z} \cdot \overline{t_V}, \text{ а } l_{t_Q}^H = \frac{l_{z,z}^H}{t_z} \cdot \overline{t_Q}.$$

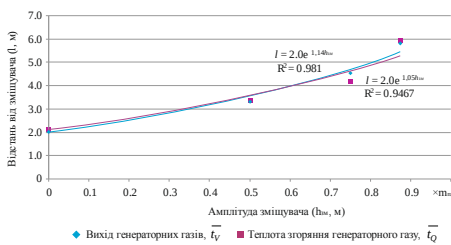


Рисунок 3. Залежність впливу амплітуди змішувача на відстань, при якій газогенератор переходить на ефективний режим роботи

Високий ступінь збіжності кривих $\overline{t_V}$ та $\overline{t_Q}$ (Рис. 3) дає нам змогу визначити відстань від змішувача l при подоланні якої підземний газогенератор перейде на ефективний режим роботи:

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

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

Різке зменшення процентного вмісту концентрацій горючих генераторних газів відбувається перед диз'юнктивним змішувачем 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 змішувача h_{zm} та швидкості посування вогневого вибою $V_{g,s}$.

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, залишені після експлуатації шахт, підземна розробка яких традиційним способом неефективна й недоцільна і які за розширеними критеріями придатності можуть бути придатні до СПГВ.

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 Станчику та Станіславу Прусеку за підтримку у проведенні досліджень на території інституту.

Примечание [V23]: Выводы должны быть представлены в краткой форме, описывая самые важные результаты работы, а также взгляды автора (-ов) на практическое применение результатов.

Примечание [V24]: Благодарности: например ученым за консультации; гранту; фонду (название, номер, тип проекта) должны быть размещены в отдельном разделе перед списком литературы. Названия организаций должны быть написаны полностью. Если результаты статьи получены без поддержки какого-либо из проектов или финансирования, то это также необходимо отметить. Также Вы можете выразить благодарность организации, лаборатории, учреждению и т.п., которые в той или иной степени причастны к публикации Вашей работы.

Примечание [V22]: Если название рисунка более одной строки, то должно быть выравнивание по ширине. Второй и следующие строки должны быть с отступом 1.6 см. Если Вам необходимо в описании рисунка предоставить дополнительную информацию, то используйте следующий порядок: Рисунок 3. Название рисунка: 1 – описание; 2 – описание; и.т.д.

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.pecs.2012.09.004>
- Falshtynskiy, V., Dychkovskiy, R., Lozynskiy, 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 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 выгазовывания при применении технологии скважинной подземной газификации угля.

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

Результаты. Полученные зависимости влияния амплитуды сместителя геологического нарушения на расстояние, при котором газогенератор переходит на эффективный режим выгазовывания по суммарному выходу горючих генераторных газов и их теплоты сгорания. Представлена зависимость изменения коэффициента интенсификации выгазовывания который зависит от кинетики протекания термохимических реакций в реакционной канале подземного газогенератора. Предложен подход к переносу результатов стеновых 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 выгазовывания определяется степенью неразрывности пласта и регулируется скоростью подвигания огневого забоя и сбалансированной подачей реагентов дутья.

Практическая значимость. Полученные результаты стеновых экспериментальных исследований, с достаточной для практического применения точностью, могут использоваться для определения параметров выхода подземного газогенератора на эффективный режим выгазовывания, дают возможность расширить область применения технологии скважинной подземной газификации угля в зонах геологического нарушения горного массива и в перспективе привлечь к отработке некондиционные залежи каменного угля для получения энергетического и химического генераторного газа, химических продуктов и тепловой энергии.

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

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

Результати. Отримані залежності впливу амплітуди змішувача 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 стенових 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 дутьової 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 стенових 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 тех-

Примечание [V25]: Список литературы должен быть составлен в соответствии с правилами APA (name-date method). При создании литературы в соответствии с правилами APA используйте бесплатный онлайн сервис - <https://www.citethisforme.com/>. С последовательностью использования онлайн сервиса можно познакомиться [здесь](#).

Все источники, цитируемые в тексте, должны быть отображены в списке литературы. Сортировка литературы – по алфавиту.

Литература не должна быть сгруппирована как печатная или электронная.

Ни в коем случае не дописывайте в список литературы ссылки на публикации, не имеющие отношения к Вашей статье. Библиографические данные публикаций на украинском, русском, греческом, китайском, японском и т.д. должны транслитерироваться латиницей (НЕ ПЕРЕВОДИТЬСЯ). В списке литературы представить ссылки лишь латиницей.

При транслитерации литературы с украинского языка используйте бесплатный онлайн сервис:

<http://www.slovyk.ua/services/translit.php>

при транслитерации с русского языка -

<http://fotosav.ru/services/transln.aspx>

Шрифт 9. Если статья имеет doi., то его также необходимо указать.

Каждая ссылка начинается с новой строки, вторая и последующие строки должны иметь отступ 0.5 мм.

Нет никаких ограничений в количестве ссылок (обычно не менее 8).

Однако Вы должны делать ссылки на публикации, которые находятся в базе данных SCOPUS или Web of Science не менее 66% от общего количества ссылок.

Самоссылки не должны превышать 15% от общего количества ссылок.

Примечание [V26]: ABSTRACT на русском языке не должен отличаться от английской и украинской версий (за исключением особенностей технического перевода). Все пункты ABSTRACT являются обязательными.

Примечание [V27]: ABSTRACT на украинском языке не должен отличаться от английской и русской версий (за исключением особенностей технического перевода). Все пункты ABSTRACT являются обязательными.

Для авторов стран Ближнего и Дальнего зарубежья, не владеющих украинским языком, и присылающих статью на русском языке, перевод ABSTRACT на украинский язык будет осуществлен редакторами журнала.

нології 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*

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: lyg.nmu@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]: Редакция журнала отвечает за оформление дополнительной информации и сведений об авторах.

Примечание [V29]: При написании ФИО для авторов с Украины используйте паспортную транслитерацию (КМУ 2010) с украинского языка <http://www.slovnnyk.ua/services/translit.php>. Для авторов с ближнего зарубежья используйте собственные (официальные) системы транслитерации.

Примечание [V30]: Использование символов и единиц. Консистенция стиля очень важна. Обратите внимание на отступы, знаки пунктуации и заглавные буквы в следующих примерах:

– Ссылка в тексте: Рисунок 1, Рисунок 1 – 3, 7, 9а, б (не сокращается);

– Ссылка между скобками: (Рис. 1), (Рис. 1 – 3, 7, 9а, б) (сокращается);

– США вместо С.Ш.А.

Всегда используйте официальные единицы системы СИ:

– кг / м / кДж / см вместо кг. / (Кг) / м. / кДЖ. / см.;

– 18°22'50"ПШ вместо 18° 22' 50" ПШ;

– 0.82 вместо 0,82;

– н.э / до н.э / и т.д. / напр. / обл. / г. / гг.;

– 25 вместо ×25 / X25 / х 25;

– 2 + 3 > 4 вместо 2+3>4;

– но –7 / +7 вместо – 7 / + 7;

– “Текст...” вместо «Текст...».