

П.Б. Саїк, В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, В.Г. Лозинський

## ДО ПИТАННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ ПОСУВАННЯ ВОГНЕВОГО ВИБОУ

*Проведено аналіз можливості забезпечення рівномірності посунання вогневого вибою підземного газогенератора. Наведено результати стендових експериментальних досліджень при газифікації вугілля зі змінною потужністю пластів. Отримані результати із достатньою для практичного застосування точністю можуть використовуватись для газифікації тонких та надтонких вугільних пластів, дають можливість підвищити концентрацію горючих генераторних газів на виході з підземного газогенераторі та збільшити їх теплоту згорання.*

---

### К ВОПРОСУ СОХРАНЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОГНЕВОГО ЗАБОЯ

*Выполнен анализ возможности обеспечения равномерности подвигания огневого забоя подземного газогенератора. Приведены результаты стендовых экспериментальных исследований при газификации угля с переменной мощностью пластов. Полученные результаты с достаточной для практического применения точностью могут использоваться для газификации тонких и весьма тонких угольных пластов, дают возможность повысить концентрацию горючих генераторных газов на выходе с подземного газогенераторе и увеличить их теплоту сжигания.*

---

### REVISITING THE PRESERVATION OF UNIFORMITY ADVANCE OF COMBUSTIBLE FACE

*The possibility to ensure uniformity advance of combustible face in underground gasifier is analyzed. The results of laboratory experimental studies during coal gasification with variable coal seams thickness are shown. The results of experimental investigations stand out enough for practical applications of precision can be used to coal seam gasification of thin coal seams. It allows to increasing the concentration of combustible generator gases in output from underground gasifier and increase the heating value.*

---

#### ВСТУП

Забезпечення рівномірності посунання вогневого вибою підземного газогенератора є складовим елементом свердловинної підземної газифікації вугілля. Відомо, що це дозволяє зберігати геометричні параметри вогневого вибою по довжині підземного газогенератора та підтримувати стабільний вихід горючих генераторних газів з вищою їх теплотою згорання понад 4 МДж/м<sup>3</sup>. На

жаль, на сьогодні немає чітко визначених технологічних параметрів, при дотриманні яких можна забезпечити умови ефективного протікання термохімічних процесів у підземному газогенераторі.

Нерівномірність посунання вогневого вибою виникає через незбалансованість між окислювальними та відновними реакціями хімічних зон підземного газогенератора як по довжині реакційного каналу, так і по довжині стовпа газифікації. Такої ситуації

можна уникнути шляхом активізації вуглецю у відновлюваній зоні, оскільки процес газифікації протікає в кінематичній області. Активація цього процесу можлива хемосорбцією  $CO_2$  та  $H_2O$  зі зниженням гальмівної дії продуктів реакції, шляхом реверсування дуттьовими потоками, що надходять у підземний газогенератор [1].

Сутність реверсу полягає в зміні призначення функцій свердловин, коли газовідвідна свердловина стає нагнітальною, а нагнітальна – газовідвідною. Відомий спосіб стабілізації довжини й напрямку вогневого вибою підземного газогенератора [2]. Теоретичні розрахунки показують, що застосування реверсу активних зон підземного газогенератора в умовах вигазовування тонких вугільних пластів забезпечить збільшення виходу горючих компонентів у генераторному газі на 39 – 84% з підвищенням теплотворної здатності штучного газу понад  $4,9 \text{ МДж/м}^3$ . Дане технологічне рішення є узагальненим та для конкретних гірничо-геологічних умов вимагає проведення додаткового дослідження.

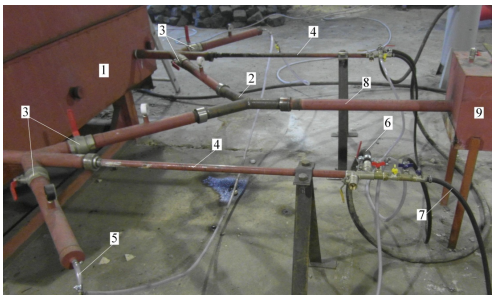


Рис. 1. Підключення системи реверсу: 1 – експериментальний стенд; 2 – трійник реверсу; 3 – засувки регулювання подачі дуттьових сумішей; 4 – керовані нагнітальні трубопроводи; 5 – 7 – відповідно повітряний, паровий та кисневий шланги; 8 – газовідвідна гілка; 9 – бак збору зололашків

Біля 80% усіх запасів вугілля знаходиться у пластах, потужність яких не перевищує 1,2 м, тому саме на ці умови спрямовані дослідження щодо встановлення режиму реверсу в підземному газогенераторі. Для цього нами було розроблено

трійник реверсу 2 та проведено його підключення до стендової експериментальної установки, що дало можливість проводити реверс дуттьовими сумішами (рис. 1).

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відомо, що окислювальній зоні підземного газогенератора відбувається горіння вугілля, а точніше вуглецю та кисню із вдутого у підземний газогенератор повітря за первинними реакціями. Важливою групою процесів підземної газифікації вугілля складають фізико-хімічні процеси, пов'язані зі зміною хімічного складу та властивостей вугілля. Газоподібні продукти первинних реакцій взаємодіють, у свою чергу, у реакції з вуглецем палива, киснем, водяною парою та між собою, це так звані вторинні реакції [3]. Найважливішою вторинною реакцією газифікації є гетерогенна реакція відновлення  $CO_2$  в  $CO$  ( $C + CO_2 = 2CO \pm q$ ,  $q$  – теплова енергія, що утворюється в процесі реакції). Ця реакція є вирішальною, яка і визначає кількість одержуваного газу. Вона проходить при температурах вище  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  у відновлюваній зоні. В окислювальній зоні підземного газогенератора проходить випередження лінії вогневого вибою. Відповідно збільшується його довжина та пересування в сторону дуттьової свердловини. Реверс у напрямку газифікації призводить до вирівнювання вогневого вибою. Тому цей процес, як показало дослідження, є обов'язковим для ефективного відпрацювання запасів вугілля.

Час, який визначає перехід підземного газогенератора на даний режим, встановлювався на основі основного показника газифікації – концентрації горючих генераторних газів на виході з підземного газогенератора. Визначення часу відбувалось на основі усереднених концентрацій горючих генераторних газів ( $H_2 + CH_4 + CO$ ) та встановлених швидкостей посування вогневого вибою за певний проміжок часу. Заміри концентрації горючих генераторних газів проводились з кроком у 15 хв. На ос-

нові проведені досліджень по встановленню концентрації горючих генераторних газів побудовано графіки зміни їх концен-

трації залежно від тривалості газифікації. Дані графіки наведено на рис. 2.

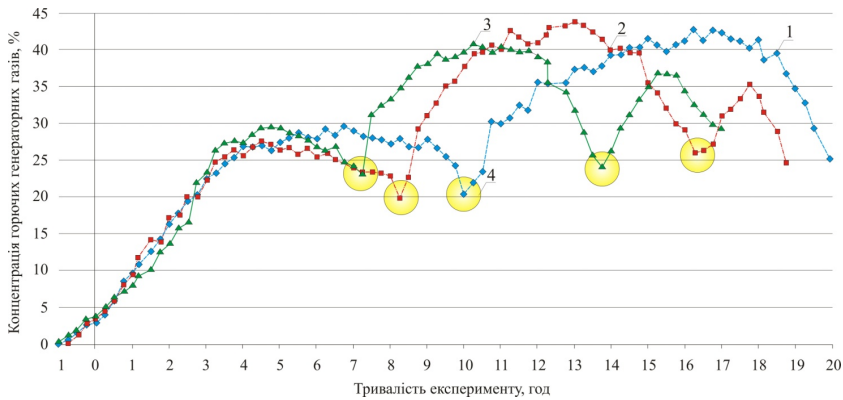


Рис. 2. Графік виходу горючих генераторних газів впродовж проведення експериментів при потужності вугільних пластів: 1 – 1,2 м; 2 – 1,0 м; 3 – 0,8 м; 4 – зона переходу на режим реверсу

При газифікації вугільного пласта потужністю 1,2 м до початку режиму реверсу (див. рис. 2) максимальна концентрація горючих генераторних газів склала біля 30%, потужністю 1,0 м – 27% і 0,8 м – 30%. При переході на режим реверсу максимальна концентрація коливалась на рівні 40 – 44%. На основі аналізу графіка рис. 2 та враховуючи встановлені масштабні коефіцієнти було визначено крок переходу підземного газогенератора на режим реверсу при змінній потужності вугільних пластів. На пластах потужністю 1,2 м режим реверсу необхідно проводити через кожні 2,7 доби, при 1,0 м – 2,2 доби, при 0,8 м – 1,9 доби. Звідки теоретичний час переходу підземного газогенератора на режим реверсу при потужності вугільного пласта 0,6 м визначається за наступною залежністю

$$t_{m0,6} = \frac{t_{m1,0}}{t_{m1,2}} t_{m0,8}, \text{ дїб,}$$

де  $t_{m1,2}$ ,  $t_{m1,0}$ ,  $t_{m0,8}$  – відповідно час переходу підземного газогенератора на реверс при потужності вугільних пластів 1,2; 1,0 та 0,8 м.

Отже, теоретичний час переходу підземного газогенератора на режим реверсу, що працює на вугільному пласті потужністю 0,6 м, дорівнює 1,5 дїб.

Перевірка даної методики проводилась на основі встановлених середніх експериментальних та теоретичних швидкостей посування вогневого вибою залежно від маси вигазовуваного вугілля за наступною залежністю

$$M = m\gamma vt, \text{ т,}$$

де  $m$  – потужність вугільного пласта, м;  
 $\gamma$  – щільність вугільного пласта, т/м<sup>3</sup>;  
 $v$  – середня швидкість газифікації, м/доб;

$l$  – довжина реакційного каналу, м;  
 $t$  – час переходу на режим реверсу, дїб.

Результати досліджень наведено в таблиці.

З аналізу даних таблиці видно, що крок розбіжності отриманих результатів по масі вигазованого вугілля становить 13 – 20%.

Він знаходиться у межах кроку розбіжності часу при переході підземного газогенератора на режим реверсу. По отриманим

даним із графіків рис. 2 та даних таблиці встановлено взаємозв'язок між потужністю вугільних пластів та часом переходу

підземного газогенератора на режим реверсу по довжині стовпа газифікації (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ВСТАНОВЛЕННЮ МАСИ ВИГАЗОВАНОГО ВУГІЛЛЯ

Таблиця

Потужність вугільного пласта, $m$ , м	Середня швидкість газифікації, $v$ , м/доб	Довжина реакційного каналу, $l$ , м	Середній час переходу на режим реверсу, $t$ , діб	Щільність вугілля, $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Маса вигазованого вугілля, $M$ , т
1,2	2,12	30,0	2,7	1,4	300
1,0	2,58		2,2		238
0,8	3,10		1,9		197
0,6	3,60		1,5		136

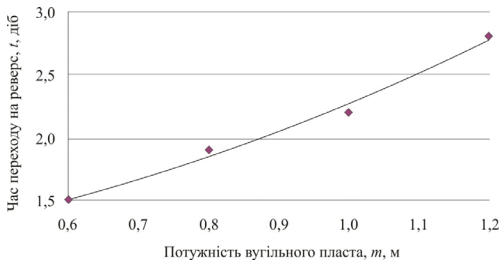


Рис. 3. Залежність зміни часу переходу підземного газогенератора на режим реверсу від потужності вугільного пласта

Із графіка наведеного на рис. 3 випливає, що час переходу на режим реверсу на пластах потужністю 0,6 м відбувається в 1,7 разів швидше чим на пластах потужністю 1,2 м. Це пов'язано зі швидкістю вигазовування вугільного пласта як по довжині стовпа газифікації, так і по площині вогневого вибою – знизу доверху. Залежність часу переходу на режим реверсу в підземному газогенераторі від потужності вугільного пласта виражається емпіричним рівнянням

$$t = 0,86e^{0,93m}, \text{ діб}; R^2 = 0,99,$$

де  $m$  – потужність вугільного пласта, м.

Показником якості генераторного газу підземної газифікації, який визначає його енергетичну цінність, є теплота згоряння

або теплотворна здатність газу  $Q$ , МДж/м<sup>3</sup>. Її визначають як кількість тепла, яке виділяється під час повного згоряння газу в повітрі за сталого тиску та температури, віднесеного до об'єму сухого газу, визначеного за стандартних умов ( $P_{см}$  – 101325 Па,  $T_{см}$  – 273,15 К ( $t_{см}$  – 0 °С)) [4]. Теплота згоряння залежить від складу суміші газифікації та визначається наступним виразом [5]

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot C_i, \text{ МДж/м}^3,$$

де  $Q_i$  – теплота спалювання (нижча або вища)  $i$ -го компонента генераторного газу;  $C_i$  – доля  $i$ -го компонента в газі.

Графік теплоти згоряння генераторних газів впродовж проведення експериментів наведено на рис. 4.

Максимальна теплота згоряння генераторних газів, до режиму реверсу становила 3,0 – 3,6 МДж/м<sup>3</sup>. Така низька теплота згоряння пояснюється зменшенням інтенсивності гетерогенних процесів, які проходять на межі розподілу двох фаз підземного газогенератора – твердої та газоподібної, що виникли через нерівномірність вигазовування вугільного пласта. Дані результати наведено на рис. 5.

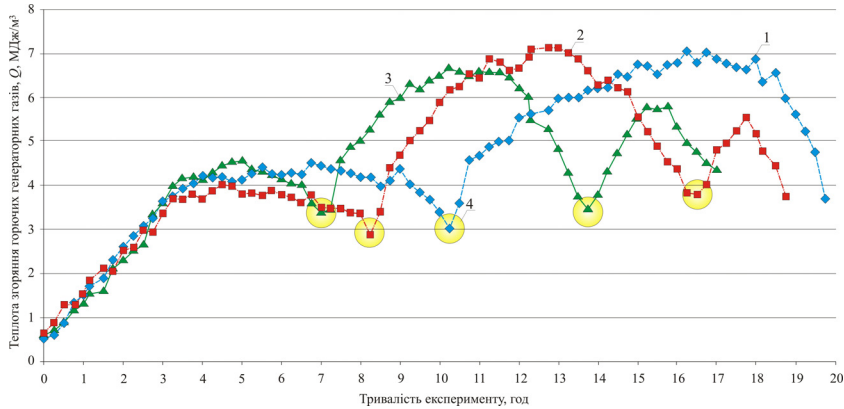


Рис. 4. Графік теплоти згорання горючих генераторних газів впродовж проведення експериментів при потужності вугільних пластів: 1 – 1,2 м; 2 – 1,0 м; 3 – 0,8 м; 4 – зона переходу на режим реверсу

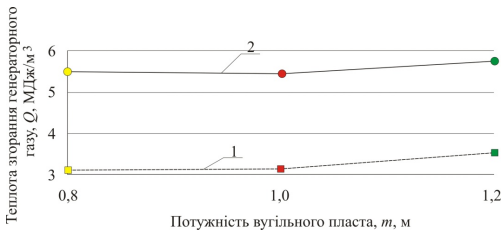


Рис. 5. Залежність збільшення теплоти згорання генераторного газу від потужності вугільного пласта до переходу підземного газогенератора на режим реверсу (1) та з переходом (2)

Збільшення теплоти згорання генераторного газу на режим реверсу описується наступним виразом

$$1,54 \div 1,61 Q_1 = Q_2, \text{ МДж/м}^3,$$

де  $Q_1$  – середня теплота згорання горючих генераторних газів до режиму реверсу, МДж/м<sup>3</sup>;

$Q_2$  – середня теплота згорання горючих генераторних газів після режиму реверсу, МДж/м<sup>3</sup>.

На основі аналізу графіка (рис. 5) встановлено, що теплота згорання горючих генераторних газів після введення режиму реверсу збільшилась на 54 – 61%. Це дозволяє покращити якісні показники генераторного газу.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень встановлено, що час переходу підземного газогенератора на режим реверсу збільшується в діапазоні від 1,5 до 2,7 доби за експоненціальною залежністю зі збільшенням потужності вугільного пласта від 0,6 до 1,2 м. Урахування цієї залежності дозволяє зберегти рівномірність посування вогневого вибою та підвищити теплоту згорання горючих генераторних газів на виході з підземного газогенератора на 54 – 61%. Подальшими дослідженнями планується встановити час переходу підземного газогенератора на режим реверсу залежно від елементного та технічного складу вугілля.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Півняк Г.Г. Про вплив температурних умов на ефективність реакцій відновлення при газифікації вугільних пластів / Г.Г. Півняк, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський // Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – С. 331 – 335.

2. Пат. на винахід №103861 Україна, МПК С10J 3/02, Е21В 43/24, Е21В 43/295. Спосіб підземної газифікації пласта твердого палива / Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Долженко В.О., Кауфман Е.Л.; заявник та патентовласник ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод – а201300069; заявл. 02.01.13; опубл. 25.11.13; Бюл. № 22/2013.

3. Соболев В.В. О генезисе каменного угля / В.В. Соболев, О.В. Колоколов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1999. – № 3. – С. 107 – 110.

4. Мотало А.В. Оцінювання якості природного газу за його теплотворною здатністю / А.В. Мотало // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2007. – Вип. 67. – С. 92 – 100.

5. Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навч. посіб. / Д.В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.

## ПРО АВТОРІВ

Саїк Павло Богданович – асистент кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.

Фальштинський Володимир Сергійович – к.т.н., доцент кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.

Дичковський Роман Омелянович – д.т.н., професор кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.

Лозинський Василь Григорович – асистент кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.