

УДК 622.278.273.2

В.С. Фальштинський, канд. техн. наук,  
Р.О. Дичковський, канд. техн. наук, доц.,  
В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,  
e-mail: dichre@yahoo.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ „ПОРОДОВУГІЛЬНИЙ МАСИВ – ПІДЗЕМНИЙ ГАЗОГЕНЕРАТОР“ НА СТЕНДОВІЙ УСТАНОВЦІ

V.S. Falshtynskyi, Cand. Sci. (Tech.),  
R.O. Dychkovskyi, Cand. Sci. (Tech.), Associate Prof.,  
V.H. Lozynskyi, P.B. Saik

State Higher Educational Institution “National Mining  
University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: dichre@yahoo.com

## RESEARCH OF ADAPTATION PROCESSES OF THE SYSTEM ‘ROCK AND COAL MASSIF – UNDERGROUND GASGENERATOR’ ON TEST BENCH INSTALLATION

Представлено результати досліджень технології свердловинної підземної газифікації вугілля на експериментальній стендовій установці з урахуванням гірничо-геологічних умов і технологічних параметрів процесу виготовлення вугільного пласта. У процесі газифікації вугілля встановлено якісний склад генераторного газу і хімічних продуктів при різних умовах термічної переробки вугілля. Апробовано режими подачі дуття і відведення генераторного газу з урахуванням зміни герметичності моделі підземного газогенератора.

**Ключові слова:** газифікація, вугільний пласт, породовугільний масив, газогенератор, стендова установка

**Мета і завдання експерименту.** Об'єктом дослідження є процес свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ).

**Мета роботи** – виявлення чинників, що характеризують процес підземної газифікації вугілля марки Д пласта с<sub>5</sub> Західного Донбасу з урахуванням зміни стану породовугільного масиву, що вміщає газифікаційний пласт. Визначення зміни параметрів аеротермохімічних показників процесу підземної газифікації в залежності від стану вміщуючих порід у міру виготовлення вугільного пласта на фізичній моделі стендової установки.

Для досягнення поставленої мети на стендовій і лабораторній установці, а також аналітичним шляхом вирішувалися наступні задачі:

- встановити функціональну залежність зміни складу газу СПГВ у міру зростання виготовленого простору при постійній витраті реагентів дуття і комбінованій схемі подачі реагентів дуття з урахуванням підвищеної вологості (44–67 %) підшоши пласта і зольності (материнської і привнесеної при формуванні вугільного пласта-моделі) вугілля (36–42 %);

- встановити межу прогрівання порід безпосередньої покрівлі над виготовленим вугільним пластом з урахуванням зміни стану порід у міру зростання виробленого простору газогенератора;

- визначити якісний склад конденсату і золоуносів при підземній газифікації модельованого вугільного пласта з урахуванням його елементного складу;

- встановити параметри формування реакційного каналу з урахуванням режимів: розпалювання, формування зони окислення (процес спалювання вугілля ПСВ) з переходом до формування стабільних зон ек-

зотермічних і ендотермічних реакцій по довжині вогняного вибою реакційного каналу підземного газогенератора (процес підземної газифікації вугілля ПГВ).

**Обґрунтування критеріїв подібності до натурних умов.** Проведення експериментів на наземних стендових установках направлено на імітацію процесів СПГВ з урахуванням моделювання геологічних умов і технологічних параметрів [1].

З метою імітації на стендових установках процесу свердловинної газифікації вугільного пласта були встановлені геометричні, механічні і кінематичні масштабні коефіцієнти, що дозволяють виконати умови подібності.

Тиск у моделі підземного газогенератора і якісний склад генераторного газу в масштабі подібності відповідає натурним умовам. Витрата повітря при повітряному дутті, згідно з проектними даними, складе 7930 м<sup>3</sup>/г (2,32 м<sup>3</sup>/кг вугілля), для дуття збагаченим киснем – 4911–5127 м<sup>3</sup>/г (1,89 м<sup>3</sup>/кг вугілля).

**Розрахунок матеріально-теплового балансу стендової установки СПГВ.** У табл. 1 наведені дані для розрахунку матеріально-теплового балансу процесу СПГВ на стендовій установці.

Математична модель матеріально-теплового балансу процесу СПГВ на стендовій установці забезпечувалася програмою „MTBalance SPGU“, розробленою співробітниками кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету. У ній передбачений алгоритм розрахунку параметрів процесу свердловинної підземної газифікації вугілля, який пов'язаний з термохімічними перетвореннями твердого палива в газоподібний стан і конденсат при заданому елементному складі вугілля, зовнішнього водоприпливу і теплового балансу підземного газогенератора [2]. Параметри процесу газифікації вугільного пласта на стенді СПГВ представлені в таблицях 2, 3, 4, 5.

Таблиця 1

Елементний і технічний склад вугілля пласта с<sub>5</sub>

W <sup>r</sup> %	W <sup>a</sup> %	A <sup>c</sup> %	S <sup>d</sup> %	V <sup>daf</sup> %	C <sup>daf</sup> %	H <sup>daf</sup> %	O <sup>daf</sup> %	N <sup>r</sup> %	Q <sup>r</sup> МДж/кг	Щільність вугілля, г/см <sup>3</sup>	Довжина реакційного каналу, м	Потужність пласта, м	Водо- приплив, м <sup>3</sup> /т
45,8	46,9	36	1,6	42,2	80,3	5,5	7,2	5,0	23,4	1,2	1,8	0,2	0,1

Таблиця 2

Параметри матеріально-теплого балансу процесу газифікації вугілля пласта с<sub>5</sub>,  
для стендової установки

Тип дуття	Параметри дуття, м <sup>3</sup> /год	Вихід газу СПГВ із газогенератора, %							Швидкість вигазовування вугільного пласта, м/доб	Хімічний ККД, %	Теплота згорання газу СПГВ, МДж/м <sup>3</sup>	Енергія зон підземного газогенератора, МДж		Вологість газу СПГВ, г/м <sup>3</sup>	Інтенсивність газифікації вугілля, т./год
		H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>				Окислення	Відновлення		
Повітряне	162	11,9	4,67	5,03	61,26	0,22	15,98	0,85	1,7	54,27	3,61	1547,7	-565,48	459	0,09
Пароповітряне O <sub>2</sub> N <sub>2</sub> пара	258 28,4 144,5 85,1	18,5	5,79	4,02	45,34	0,32	24,52	1,48	1,62	57,38	3,76	516,64	-884,14	518	0,18
Кисневе O <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	132 54,2 77,8	8,54	5,21	24,16	41,84	0,37	18,54	1,33	1,21	64,74	6,37	1616	-794,89	507	0,108

Таблиця 3

Тепловий баланс газифікації вугільного пласта с<sub>5</sub> на стендовій установці СПГВ

Показники	Тип дуття					
	Повітряне		Кисневе		Пароповітряне	
	МДж/кг	%	МДж/кг	%	МДж/кг	%
Теплота згорання на робоче паливо	23,454	95,836	23,454	88,854	23,454	93,020
Тепломісткість масиву в зоні окислення (горіння)	0,701	2,864	1,154	4,372	0,653	2,590
Тепломісткість дуття	0,318	1,299	1,788	6,774	1,107	4,390
<b>Усього:</b>	<b>24,473</b>	<b>100,000</b>	<b>26,396</b>	<b>100,000</b>	<b>25,214</b>	<b>100,000</b>
Теплота згорання газу СПГВ	3,610	15,391	6,370	24,308	3,760	14,732
Втрати тепла:						
1. Нагрівання золи і шлаку, МДж	0,312	1,330	0,214	0,817	0,316	1,238
2. Нагрівання і випаровування вологи (водоприпливу і вологості вугілля, порід), МДж	3,708	15,809	2,634	10,052	4,047	15,856
3. Нагрівання вміщуючих порід (покрівля, підошва), МДж	9,206	39,250	7,983	30,464	9,410	36,869
Тепломісткість сухого генераторного газу	6,619	28,220	9,004	34,360	7,990	31,305
<b>Усього:</b>	<b>23,455</b>	<b>100,000</b>	<b>26,205</b>	<b>100,000</b>	<b>25,523</b>	<b>100,000</b>
Температура газу в газовідвідній системі стенду, °С	143		187		115	

Таблиця 4

Витрата дуття і вихід газу СПГВ

Тип дуття	Витрата дуття		Вихід газів СПГВ	
	м <sup>3</sup> /год	м <sup>3</sup> /доб	м <sup>3</sup> /год	м <sup>3</sup> /доб
Повітряне	162	3888	221	5304
Пароповітряне	258	6192	370	8880
Кисневе	132	3168	207,4	4978

Таблиця 5

Розрахунковий вихід основних хімічних продуктів при моделюванні процесу СПГВ (кг)

Тип дуття	Вихід хімічних продуктів газифікації, кг			
	Кам'яновугільна смола	Бензол	Аміак	Сірка
Повітряне	73,7	20,48	32,8	1,02
Пароповітряне	84,9	43	57,3	1,02
Тип дуття	96,2	44	66,5	1,2

**Конструктивні особливості стендової установки.** Необхідність проведення експериментів на стендових моделях пояснюється потребою ретельнішого вивчення властивостей кам'яного вугілля Західного Донбасу і поведінки породного масиву в процесі вигазовування вугільного пласта, а також отримання початкових даних для розробки методики проведення досліджень у природних умовах на експериментальній ділянці СПГВ [3, 4].

Експериментальна стендова установка спроектована і запатентована в НГУ і побудована НВО „Неф-

темаш“ при фінансовій підтримці Міністерства освіти і науки України. Змонтована і підготовлена за сприянням технічних служб шахти „Ювілейна“ ВАТ „Павлоградвугілля“ і знаходиться на території пром-майданчика (рис. 1).

Розгорненим варіантом стендової установки є модель підземного газогенератора. У загальному вигляді установка складається з трьох елементів: дуттевої системи, випробувального стенду з контрольно-вимірвальним блоком і газовідвідної системи.



Рис. 1. Загальний вигляд і монтаж експлуатаційних систем стенду СПГВ: 1 – компресор РМ-3138; 2 – парогенератор АВРЕ-11/9; 3 – керуючий високонапірний трубопровід; 4 – ресивери (повітряний, паровий і кисневий); 5 – водний резервуар; 6 – бак-охолоджувач; 7 – витратомір ІРВІС-300С; 8 – вапняний фільтр (уловлювання  $H_2S$ ); 9 – димосос ДР-1,0-00.00ПС; 10 – димовідвід; 11 – бак збору роси і золоносів; 12 – керуючий гнучкий трубопровід; 13 – стендова установка; 14 – розпалювальна свердловина; 15 – платформа зміни кута нахилу стенду

Центральною ланкою моделі є випробувальний стенд (рис. 1), зварений з листової сталі. Стенд виконаний з однієї секції (2,2×2,5×2,0 м) з активною платформою. Герметизація стенду передбачається знімною двоблоковою кришкою, обладнаною активними гніздами (16 шт.) для датчиків переміщення (реперів) і термодатчиків.

Для зменшення втрат тепла стенд із середини ізолюваний теплоізоляційним матеріалом (жаростійка цегла і шамот) по периметру модельованого породовугільного масиву і по підшві вугільного пласта (рис. 2, а, б). Жаростійка цегла забезпечувала теплоізоляційну герметичність випробувального стенду по контуру вугільного пласта.

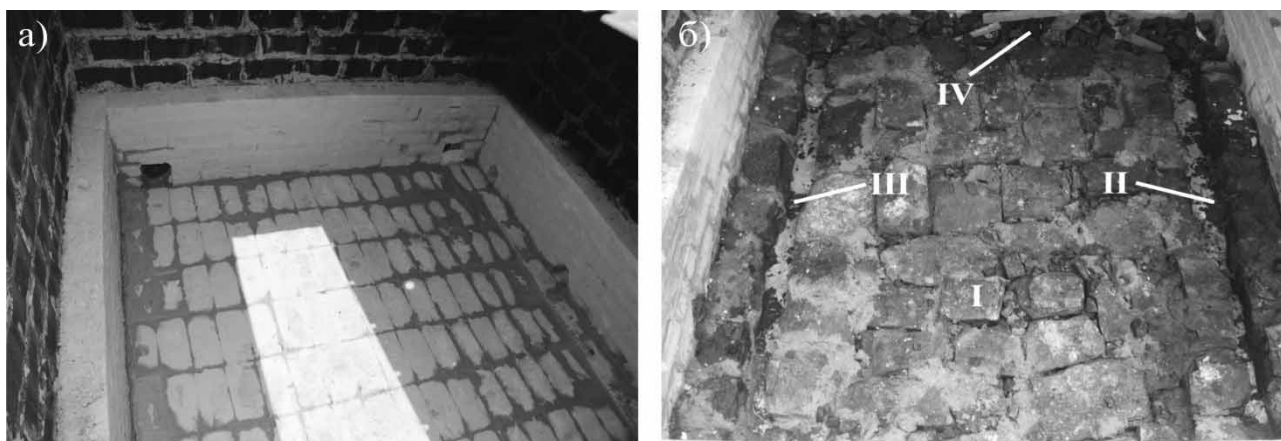


Рис. 2. Модель підземного газогенератора: а) теплоізоляція стенду; б) формування вугільного пласта: I – вугільний пласт; II – дуттєва свердловина; III – газовідвідна свердловина; IV – реакційний канал (імітація гідророзриву)

Дуттєва система складається з компресора РМ-3138, парогенератора АВПЕ-11/9, ресиверів – 4 шт., розподільників, трубопроводу і витратоміру ІРВІС 300К, а також з гумового високонапірного шланга і керуючого високонапірного трубопроводу  $d = 3$  см, з перфорованою жаростійкою насадкою на кінці, рис. 1 (3). Високонапірний трубопровід імітує роботу довгомірного гнучкого трубопроводу, забезпечує перенесення подачі дуття у міру вигазовування вугільного пласта. Керуючий трубопровід подається через різьбовий отвір у стінці стенду по імітаційній дуттєвій свердловині в пласті моделі (рис. 2, б).

Газовідвідна система (рис. 1) складається зі збирного бака з лотком для збору золоносі (11), газовідвідної магістралі з розподільною арматурою і контрольно-вимірною блоку (манометри, пірометри, газоаналізатори GASBOARD-3200L, ВХ170 і витратомір ІРВІС 300С), бака-охолоджувача (6) з баком для збору конденсату, вапняного фільтру (8) і димососа (9).

Компресори, димосос і парогенератор живляться від шахтної електромережі напругою 380 В, контрольно-вимірвальна апаратура – 220 В, сумарна потужність стенду 40 кВт.

Формування вугільного пласта здійснювалося блоками розміром  $0,2 \times 0,5 \times 0,1$  м (рис. 2, б). Формуються блоки (цеглини) вугільного пласта за допомогою ріжучого інструменту (болгарки) у відповідності до натурального пласта (масштаб 1:10).

Днище і стінки стенда обкладалися теплоізоляцією (жаростійка цегла і шамот), підшва пласта викладається породою (глинистий сланець), потім викладався вугільний масив із „цегли“, яка скріплялася між собою цементним розчином.

У пласті залишався вільний простір для імітації нагнітальної і газовідвідної свердловин та каналу газифікації. Реакційний канал формується зі шматків вугілля фракцією 2,5–6,8 см (1 частина цементу до 10 частин вугільного штибу), імітуючи гідророзрив пласта між експлуатаційними свердловинами.

Після висихання зверху вугільного пласта укладалися безпосередня покрівля з урахуванням коефіцієнтів теплопровідності, теплоємності і температуропровідності порід. Безпосередня (глинистий сланець) і основна (піскуватий сланець) покрівля формувалася з шахтної породи і шамотного розчину, що забезпечило дотримання в модельних умовах теплових коефіцієнтів.

Потужність безпосередньої покрівлі, згідно з масштабом – 0,8 м. За рахунок герметизації і теплоізоляції порід безпосередньої покрівлі забезпечувалися параметри проникності, теплопровідності, температуропровідності і теплоємності надвугільного масиву. Формування породовугільного масиву з встановленням термопар і реперів у моделі підземного газогенератора показано на рис. 3 а, б.

Керування процесом газифікації здійснювалося подачею дуття від компресора РМ-3138 по високонапірному гнучкому шлангу, який був сполучений з високонапірним трубопроводом і жаростійкою насадкою.

Варіювання тиском у зоні окислення (екзотермічні процеси) реакційного каналу і відведення генераторних газів із зони відновлення (ендотермічні процеси) газогенератора, із забезпеченням рівноваги фізичних швидкостей і кінетики реакцій, забезпечувалося комбінованою подачею дуттєвої суміші у пульсуючому режимі.

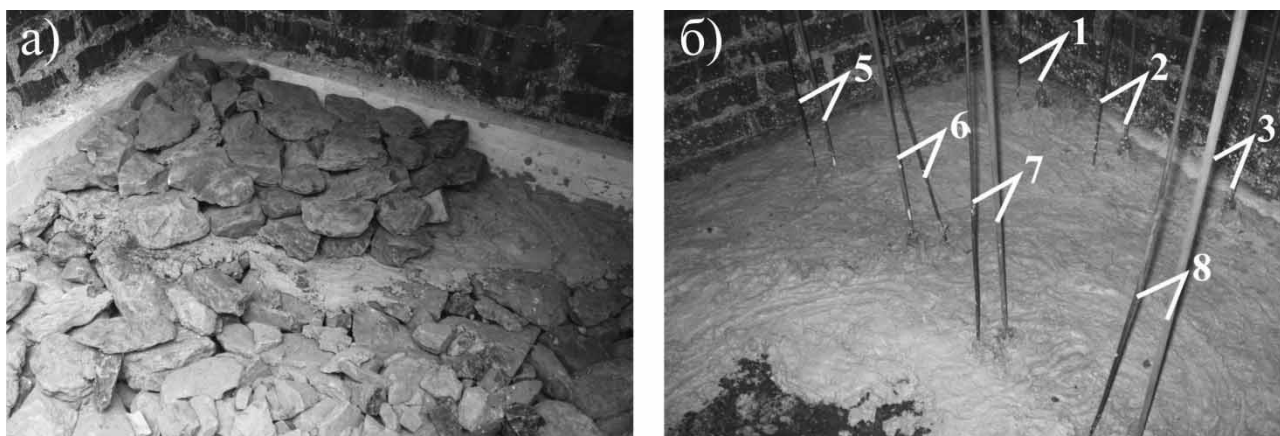


Рис. 3. Модель підземного газогенератора: а) формування породовугільної товщі підземного газогенератора; б) встановлення термопар і реперів: 1–8 система термопар (зліва) та датчиків переміщення (справа)

Параметри закладання термопар і реперів у породовугільній товщі наведені в табл.6.

Таблиця 6

Параметри закладання термопар і реперів

№ термопар та реперу	Глибина закладання, м	Відстань від термопар, м		
		до дуттєвої свердловини	між рядами	до газовідвідної свердловини
Перший ряд				
1	0,1-0,4	0,1	0,7	0,1
2	0,1-0,4	0,4	0,7	0,4
3	0,1-0,4	0,4	0,7	0,4
4	0,1-0,4	0,4	0,7	0,4
Другий ряд				
5	0,2-0,5	0,4	0,7	0,4
6	0,2-0,5	0,4	0,5	0,4
7	0,2-0,5	0,4	0,5	0,4
8	0,2-0,5	0,4	0,5	0,4

**Дослідження технології свердловинної підземної газифікації вугілля на стендовій установці.**

На експериментальній стендовій установці в 2011 р. досліджувалися закономірності зміни параметрів процесу газифікації у міру вигазовування вугільного пласта:

- реактивність вугільного пласта при його розпалюванні в комбінованому режимі і відведення дуття та генераторних газів;
- параметри прямого пропалення реакційного каналу газогенератора в комбінованому режимі з урахуванням імітаційного гідророзриву між експлуатаційними свердловинами;
- умови стабільності процесу газифікації вугільного пласта у міру зростання вигазованого простору і деформації порід покрівлі;
- зміна складу генераторного газу з урахуванням імітаційних геологічних умов і параметрів газифікації вугільного пласта;
- складу і концентрацій хімічних компонентів (аміаку, сірки, піридинових основ, бензолних вугле-

водів, смоли та інших хімічних компонентів) у газоконденсаті генераторного газу з урахуванням зміни стану породовугільного масиву.

Розпалювання вугільного пласта здійснювалося через бічні отвори  $d = 100$  мм. Для здійснення процесу в розпалювальну свердловину закидають розжарене вугілля.

Через трубопровід із жаростійкою насадкою, укладеною в дуттєвій свердловині, подавалося повітряне дуття під тиском  $P = 0,3$  МПа на розжарене вугілля, що приводило до утворення займання вугільного пласта в температурному режимі  $510-523$  °С, при фіксованій середній температурі –  $510,7$  °С.

При цьому фронт прогрівання пласта співпадав з рухом дуття в напрямку прямого пропалення реакційного каналу газогенератора. Тиск при цьому збільшувався  $P = 0,42-0,5$  МПа, пропалення каналу здійснювалося зі швидкістю  $0,8-0,95$  м/год. Згідно з експериментом, подача дуття здійснювалася в нагнітальному режимі.

Перехід на комбінований режим „компресор – димосос“ дозволив зменшити тиск до  $0,3-0,41$  МПа і збільшити швидкість пропалення до  $1,3-1,5$  м/год. Після розпалення пласта і пропалення реакційного каналу (6 година експерименту) процес перейшов у формування зон реакційного каналу. При стабілізації режиму газифікації (8 год) на термопарі (4) (рис. 3, б) була зафіксована температура  $667-735$  °С, на термопарі (3)  $822-901$  °С, зменшився вміст кисню  $O_2$  в продуктах СПГВ до  $2,0$  %, вміст вуглекислого газу зменшився до  $15,9$  %.

Після 13 годин експерименту спостерігалася де-стабілізація процесу газифікації (зниження температури газу по довжині каналу, зростання у складі газів забалансових елементів). Це було, очевидно, пов'язано зі зростанням вигазованого простору ( $S_{пр.в.} = 1,88$  м<sup>2</sup>) і наявністю свищів в опорній зоні вогняного вибою, у зв'язку з тріщинуватістю шамотної глини, яка застосовувалася як герметик і теплоізолятор. Параметри температур фіксувалися за допомогою термопар (стаціонарний режим) і пірометра (динамічний режим), рис. 4.

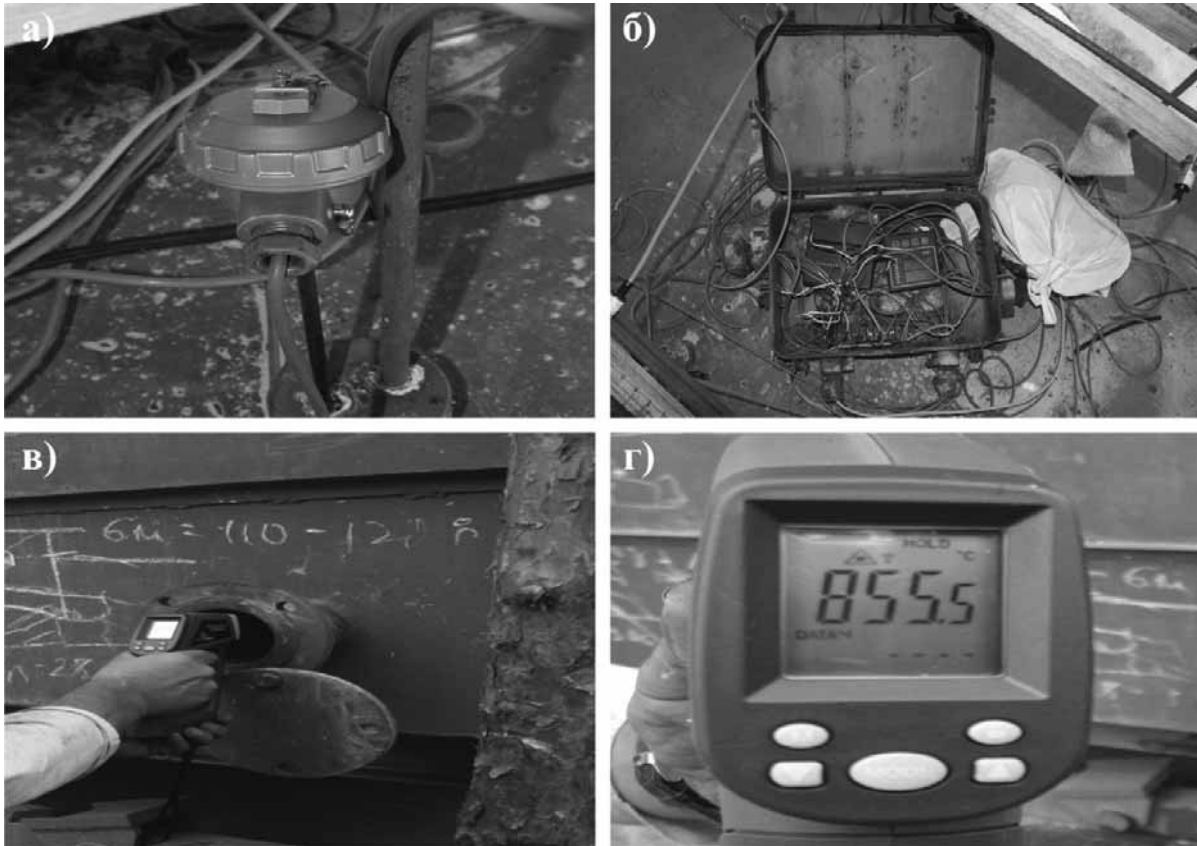


Рис. 4. Прилади для вимірювання температур: а, б – у стаціонарному режимі (термопари); в, г – у динамічному режимі (пірометр)

Враховуючи існуючу ситуацію, тиск дугтя був знижений до  $P = 0,1-0,14$  МПа і введений комбінований режим подачі дугтевої суміші, що дозволило протягом двох годин підтримувати процес газифікації в стабільному стані.

Слід зазначити, що нестабільність процесу газифікації на першому етапі виникла у зв'язку з втратами тепла до 45–66 %. Середній показник вологості генераторного газу у ході експерименту визначається за виразом

$$W_p = \frac{\gamma_B}{V^k} \cdot (0,111 \cdot H^r + 0,0124 \cdot W^r + 0,016 \cdot V^o + \frac{\gamma_B}{g}) =$$

$$\frac{0,804}{2,3} \cdot (0,111 \cdot 5,4 + 0,0124 \cdot 36 + 0,016 \cdot 7,46 + \frac{0,804}{3,1}) = 0,429$$

У пласті вугілля і породній товщі (підшві) відбувалося випаровування води. Вологість породного масиву складала 30,6–45,7 %, а зольність вугільного пласта  $A_c = 36-45$  %, яка збільшилася внаслідок скріплення блоків вугілля між собою глиноцементним розчином для створення масиву.

Зміна температур газу по довжині реакційного каналу, залежно від режиму вигазовування вугільного пласта і формування зон екзотермічних і ендотермічних реакцій у міру стабілізації процесу, представлена на рис. 5.

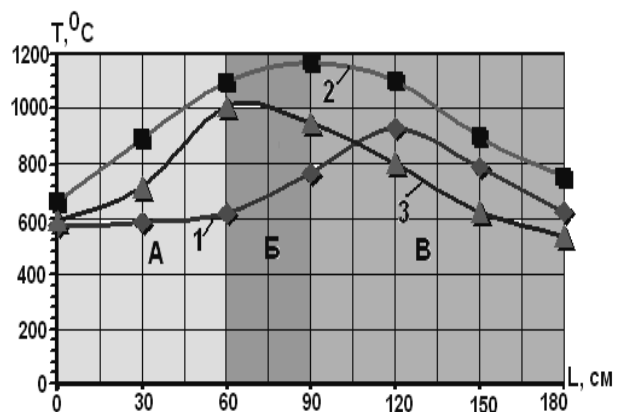


Рис. 5. Зміна температури газу по довжині реакційного каналу залежно від режиму вигазовування вугільного пласта і формування зон екзотермічних і ендотермічних реакцій у міру стабілізації процесу: А – окислювальна зона; Б – перехідна зона; В – відновлювальна зона; 1 – розпалювання пласта і пропалення реакційного каналу, 2 – режим газифікації вугільного пласта, 3 – режим затухання процесу газифікації

У табл. 7 представлені показники складу генераторного газу, отриманого під час проведення експерименту.

Таблиця 7

Склад вихідних газів

Час від початку процесу, год	Компоненти генераторного газу						
	CH <sub>4</sub> , %	CO, %	H <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> S, %	O <sub>2</sub> , %
3:30	1,8	4,7	3,2	20,3	65,2	1,5	3,3
4:30	2,1	6,2	4,9	19,7	63,4	1,4	2,3
5:30	2,4	7,8	6,6	19,1	60,5	1,4	2,2
7:00	2,9	9,4	7,5	18,2	58,4	1,3	2,3
9:00	4,4	9,8	10,1	15,9	55,8	1,4	2,6
11:00	3,8	9,2	8,3	17,2	54,4	1,3	5,8
13:00	3,6	8,5	7,4	17,4	56,35	1,35	5,4
15:00	3,2	5,1	6,5	17,55	60,81	1,36	5,48
16:00	2,2	3,7	4,6	17,6	65,1	1,4	5,4
18:00	1,2	2,8	2,6	17,5	68,9	1,3	5,7

Температурний режим і вихід горючих компонентів, залежно від температурного режиму експерименту на стендовій установці СПГВ, показаний на графіку (рис. 6).

На ділянці горіння (окислювальна зона 0,34–0,45 м) температура в каналі газогенератора змінювалася з 510 до 1139 °С.

У результаті експерименту на стендовій установці підземної газифікації вугілля були отримані дані про прогрівання порід, що вміщують газогенератор, склад генераторного газу, параметри розпалювання вугільного пласта, пропалення реакційного каналу із застосуванням комбінованого режиму спалювання вугілля. Температура на цій ділянці змінювалася по довжині вогняного вибою в межах 1005–618 °С.

Параметри процесу спалювання і газифікації вугілля на експериментальній стендовій установці, при різних режимах термічної переробки вугілля, представлені в табл. 8.

Таблиця 8

Параметри процесу спалювання і газифікації вугільного пласта на стендовій моделі СПГВ

Час від початку процесу, год	Тиск, МПа		Об'ємні показники, м <sup>3</sup> /год		Посування дуття, см	max t °С/по каналу, м
	ресивер	дуття	дуття	газу		
<b>Розпалювання пласта і пропалення реакційного каналу</b>						
3:30	0,3	0,1	188,6	288,9	0	572/0,14
4:00	0,3	0,1	187,9	269,7	0	590/0,22
4:30	0,3	0,14	250,6	365,8	0	621/0,22
5:00	0,55	0,32	266,7	384,2	0	765/0,45
5:30	0,56	0,34	270,5	391,4	0,02	814/0,57
6:00	0,54	0,32	271,2	388,5	0,02	825/0,84
6:30	0,55	0,32	270,8	390,6	0,02	929/0,92
<b>Режим газифікації вугільного пласта</b>						
7:00	0,25	0,11	222,0	342,1	0,02	1044/0,94
7:30	0,27	0,15	222,3	345,3	0,04	1139/0,95
8:00	0,25	0,12	232,7	354,6	0,04	1159/0,92
8:30	0,22	0,1	233,5	353,5	0,04	1173/0,9
9:00	0,22	0,1	243,7	363,6	0,04	1154/0,9
9:30	0,2	0,1	245,7	365,9	0,06	1114/0,88
10:00	0,28	0,17	249,6	370,7	0,06	1093/0,85
<b>Режим затухання процесу газифікації</b>						
11:00	0,15	0,1	215,7	322,8	0,06	1090/0,82
11:30	0,16	0,1	217,2	324,5	0,07	1005/0,76
12:00	0,12	0,095	213,8	319,3	0,07	1005/0,75
12:30	0,17	0,095	218,4	320,4	0,07	1004/0,8
13:00	0,18	0,089	220,2	313,3	0,07	996/0,77
13:30	0,15	0,085	217,0	305,6	0,08	989/0,75
14:00	0,19	0,085	225,1	302,2	0,08	918/0,74
14:30	0,21	0,091	226,8	302,1	0,09	852/0,76
15:00	0,2	0,086	221,9	273,5	0,09	811/0,8
15:30	0,18	0,075	220,1	245,8	0,11	762/0,73
16:00	0,16	0,07	219,6	240,2	0,12	744/0,75
17:30	0,15	0,067	218,7	237,7	0,12	675/0,69
18:00	0,1	0,051	203,6	225,8	0,14	558/0,61

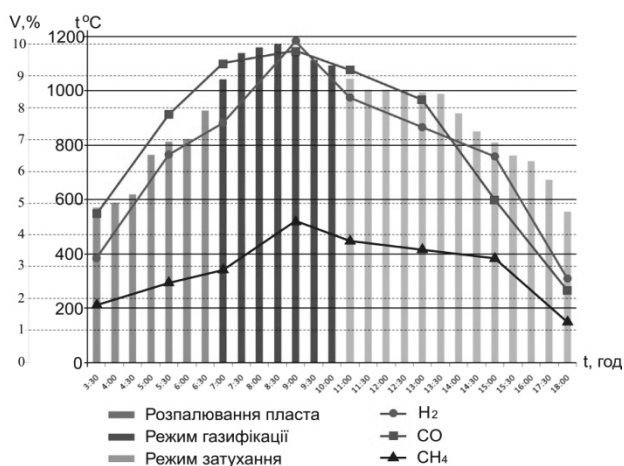


Рис. 6. Температурний режим ( $t^{\circ}$ ) і вихід горючих компонентів ( $V$ ) залежно від часу початку експерименту ( $t$ )

У табл. 9 наведенні результати аналізу рідких продуктів газифікації вугільного пласта, отриманих під час експерименту на стендовій установці.

Конденсат представляє собою рідину світло-зеленого кольору з наявністю твердих речовин і не характерним для коксохімічного підприємства запахом, що нагадує запах дьогтю. При тривалому контакті з повітрям проба набуває чорного кольору.

Енергетичні показники процесу газифікації вугілля, у ході експерименту на стендовій установці, представлені в табл. 10.

Аналізуючи результати експериментів, можна констатувати, що на відстані 0,5 м (2 м в натурі) від газифікованого пласта, породи покрівлі піддаються інтенсивному прогріванню газоподібними продуктами свердловинної підземної газифікації вугілля за рахунок їх міграції по тріщинах і розшаруваннях у надвугільному масиві.

Таблиця 9

Результати аналізу конденсату, отриманого під час експерименту

№ п/п	Найменування показників	Кількість, мг/м <sup>3</sup>	Кількість, г/м <sup>3</sup>	кг/612кг вугілля	г/кг вугілля
1	Феноли	7 500	7,5	4,60	7,53
2	Сірководень	11 900	11,9	7,31	11,95
3	Аміак летючий	3 100	3,1	1,90	3,11
4	Аміак зв'язаний	2 580	2,58	1,58	2,59
5	Смолянисті речовини	5 450	5,45	3,34	5,47
6	Ароматичні з'єднання	100	0,10	0,06	0,10
7	Амоній тіосульфату	112 000	112	68,80	112,43
8	Амоній сульфату	27 000	27	16,58	27,10
	Усього	142 630	142,63	87,62	143,18

Таблиця 10

Енергетичні показники процесу газифікації

Кількість вигазованого вугілля, кг	Вихід генераторного газу, м <sup>3</sup>		Теплова потужність стенду, Гкал		Потужність стенду, МВт	Q, МДж/м <sup>3</sup>	Вихід хім. продуктів г/кг вугілля
	генераторний газ	(CH <sub>4</sub> , CO, H <sub>2</sub> )	за 1 год	за 15 год			
612	1432,1	529,4	2,89	43,35	3,35	2,13	0,143

Інтенсивність прогрівання починає падати по потужності порід (глинистого сланцю) над вигазовуваним вугільним пластом за рахунок зменшення розмірів порушеного масиву.

Ступінь прогрівання порід покрівлі над моделюючим газогенератором при різних значеннях тиску в стабільному режимі газифікації представлений на рис.7.

При зміні тиску до 0,5 МПа в окремих місцях надвугільної товщі стенду спостерігалися прориви на поверхню газоподібних продуктів СПГВ. Це відбулося на 10 годині експерименту, при варіюванні тиску зі збільшенням вигазованого простору збільшувалися втрати газу і дугтя, погіршувалися якісні показники процесу вигазовування вугільного пласта.

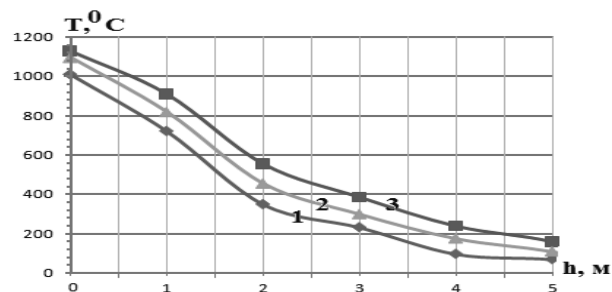


Рис. 7. Ступінь прогрівання порід покрівлі при різних значеннях тиску в стабільному режимі газифікації: 1- $p=0,15$  МПа; 2- $p=0,22$  МПа; 3- $p=0,35$  МПа;  $h$  – потужність прогріву порід покрівлі;  $T$  – температура у реакційному каналі



Ступінь прогрівання порід надвугільної товщі залежить від тиску в газогенераторі і від стану дуттєвої суміші (рис. 7). Зсув порід покрівлі в підземному газогенераторі пов'язаний з гірничо-геологічними умовами і технологічними параметрами підземного газогенератора та процесом вигазовування вугільного пласта. Зсув порід покрівлі над газогенератором в умовах експерименту фіксувався по простяганням і підняттям вугільного пласта. Криві, які характеризують зсуви порід покрівлі у міру вигазовування вугільного пласта в умовах стенду, представлені на рис. 8.

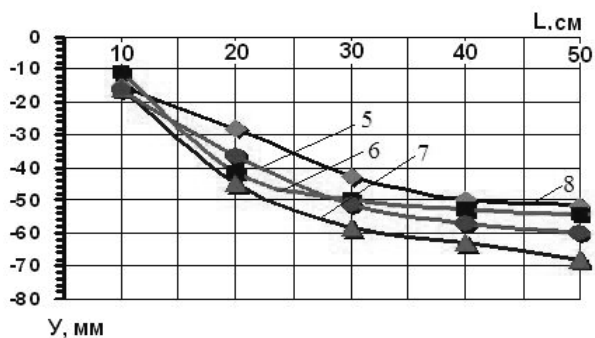


Рис. 8. Опускання порід покрівлі в міру вигазовування вугільного пласта: 5, 6, 7, 8 – репера в безпосередній покрівлі пласта (рис. 3); L – довжина напівпрогону газогенератора, Y – опускання порід покрівлі модельованого газогенератора

Як показано на графіку, опускання порід покрівлі в максимумі склало 67,2 мм, що пов'язано з упорядкованим опусканням покрівлі на золозалишок, який склав 15–18% від потужності газифікованого вугільного пласта. Спучення порід покрівлі над вогняним вибоєм вираховувалося, виходячи з коефіцієнта спучення  $K_{в.п} = 1,27-1,42$ .

#### Висновки:

1. Достовірність моделі процесу СПГВ на стендовій установці забезпечується встановленням критеріїв подібності газифікації вугілля до гірничо-геологічних умов природи і параметрів стенда.

2. Застосування комбінованої системи подачі дуття і відведення генераторних газів дозволяє на 40 % скоротити час на розпалювання пласта і на 32 % збільшити швидкість формування реакційного каналу при зменшенні витрат дуття на 14–18 %.

3. Стабільність газифікації вугілля, при порушенні порід покрівлі, при збільшенні вигазованого простору газогенератора, забезпечується: достатньою герметичністю підземного газогенератора, варіюванням температури та тиску дуттєвої суміші, точкою переносу і режимом подачі, збалансуванням компонентів дуття, а також підтримкою і контролем теплового і адіабатичного режиму зон реакційного каналу.

4. При стабільному режимі газифікації і підвищеній вологості порід 30–36 % забезпечується вихід генераторного газу 2,34 м<sup>3</sup>/кг вугілля з теплою згорання 2,13 МДж/м<sup>3</sup>, вихід хімічних речовин 0,14 кг/кг вугілля і вміст горючих компонентів у генераторному газі (повітряне дуття) – 21–30 %.

#### Список літератури / References

1. Колоколов О.В. Теория и практика термохимической технологии добычи и переработки угля / [О.В. Колоколов, Н.М. Табаченко, А.М. Ейшинский и др.] – Днепропетровск: НГА Украины, 2000. – 281с.

Kolokolov O.V. Theory and practice of thermochemical technology of coal mining and processing / [O.V. Kolokolov, N.M. Tabachenko, A.M. Yeyshinskiy et al.] – Dnepropetrovsk: NGA Ukraine, 2000. – 281 p.

2. Chen F. The UCG progress in China / F. Chen. In: Proceedings of the 3rd International UCG conference. London, UK // Underground coal gasification partnership; 2008.

3. Фальштинський В.С. Сучасний досвід підземної газифікації / В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, К. Станчик // Международная научно-практическая конференция, 19–21 октября 2010 г, Киев, Украина, – К.: Институт газа НАНУ; 2010. – С. 27–30.

Falsztynskyi V.S. Modern experience of underground coal gasification / V.S. Falsztynskyi, R.O. Dychkovskiy, K. Stanchik // International practical conference, October 19–21, 2010, Kiev, Ukraine, – K.: NAS gas institution; 2010. – P. 27–30.

4. Falsztynskyi V. Economic indicators of BUCG experimental station in the SC Pavlogradugol conditions / V. Falsztynski, R. Dyczowski, O. Zasedatilev // Proceedings of the school of underground mining, Dnepropetrovsk-Yalta: Ukraine, October 2–8, 2011. – P. 201–207.

Предоставлены результаты исследований технологии скважинной подземной газификации угля на экспериментальной стендовой установке с учетом горно-геологических условий и технологических параметров процесса выгазовывания угольного пласта. В процессе газификации установлен качественный состав генераторного газа и химических продуктов в разных условиях термической переработки угля. Апробированы режимы подачи дуття и отвода генераторного газа с учетом изменения герметичности газогенератора.

**Ключові слова:** газифікація, угольний пласт, породоугольний масив, газогенератор, стендова установка

The results of borehole underground coal gasification researches on a test bench installation with account taken of technological and geological conditions and technological parameters of coal seam degasation process are examined. During the gasification experiment the qualitative composition of generator gas and chemical products obtained at different thermochemical conditions of coal processing were determined. The modes of gas draught and discharge taking into account permeability of gas generator are tested.

**Keywords:** gasification, coal seam, rock and coal massif, gas generator, test bench installation

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Бузилом. Дата надходження рукопису 11.05.11.