

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ГІРСЬКОГО МАСИВУ ПРИ ОДНОЧАСНОМУ ВИСХІДНОМУ ПОРЯДКУ ВИГАЗОВУВАННЯ ЗБЛИЖЕНИХ ТОНКИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Приведены результаты исследования технологии скважинной подземной газификации угля на стендовой экспериментальной установке при одновременном восходящем выгазовывании сближенных тонких угольных пластов. Установлены параметры пространственного размещения линии максимального опережения огневого забоя подрабатываемого угольного пласта.

Представлено результати дослідження технології свердловинної підземної газифікації вугілля на стендовій експериментальній установці при одночасному висхідному порядку вигазовування зближених тонких вугільних пластів. Встановлено параметри просторового розміщення лінії максимального випередження вогневого вибою підробляемого вугільного пласта.

The results of investigation of borehole underground coal gasification technology in a bench experimental setup at simultaneous upward mining gasification of thin coal seams are given. The parameters of the spatial distribution of the maximum combustion face advancing of undermined coal seam are set up.

Вступ. Збільшення потреб України в споживанні енергетичної сировини вимагає більш детального розгляду паливно-енергетичного комплексу. Ефективне функціонування якого можливе за рахунок всебічного розвитку саме енергетичного сектору економіки та за умови ефективної експлуатації всіх видів палива. Враховуючи незначні запаси нафти і газу, на території України, пріоритетним енергетичним носієм на найближчий час залишається вугілля.

В Україні зосереджено близько 4 % світових запасів вугілля. Основний видобуток корисної копалини ведеться в Луганській, Донецькій і Дніпропетровській областях. Причому на Луганську область припадає 43% видобутку на Донецьку – 27%, Дніпропетровську – 23%, а на Львівську і Волинську – 7% загального обсягу видобутку вугілля [1].

При сучасних обсягах виробництва українська вугільна промисловість може ефективно працювати щонайменше 200 років. На жаль, 65,9 % усіх розвіданих до експлуатації запасів сконцентровані у пластах потужністю менше 1,2 м. Особливістю їх просторового розташування є те, що значна кількість зосереджена у зближених пластах. Така ситуація приводить до необхідності пошуку нових технологій вуглевидобування для покращення показників роботи як самих гірничих підприємств так і екологічної ситуації довкілля.

Як відмітив автор роботи [2], протягом найближчих 10 років динаміка паливно-енергетичного балансу в світі істотно зміниться. Роль вугілля, як компоненти енергетичної сировини, збільшуватиметься. Це вимагатиме удосконалення техніки та технології розробки зближених тонких і надтонких вугільних пластів. Із зростанням рівня складності умов ведення очисних і прохідницьких робіт необхідно буде змінювати технічні засоби для усіх технологічних процесів гірничого виробництва.

На думку багатьох світових вчених та спеціалістів з галузі паливно-енергетичного комплексу однією з досить перспективних інноваційних технологій в гірничо-енергетичній сфері є впровадження якісно нової технології – свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ).

Мета статті. Обґрунтувати параметри технології СПГВ на основі встановлення способів управління гірським тиском при одночасному висхідному порядку вигазовування зближених тонких вугільних пластів на стендовій експериментальній установці.

Основна частина. Проведення експериментів на стендових моделях дає можливість встановлювати закономірності процесу підземної газифікації та поведінки породного масиву в процесі вигазовування вугільного пласта, а також отримувати вихідні дані для розробки технічної документації по спорудженню промислових станцій «Підземгаз».

Експериментальна стендова установка була спроектована та запатентована в Державному ВНЗ «НГУ» на кафедрі підземної розробки родовищ, сконструйована НВО «Нафтомаш» за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України. Принципова схема наведена на рис. 1.

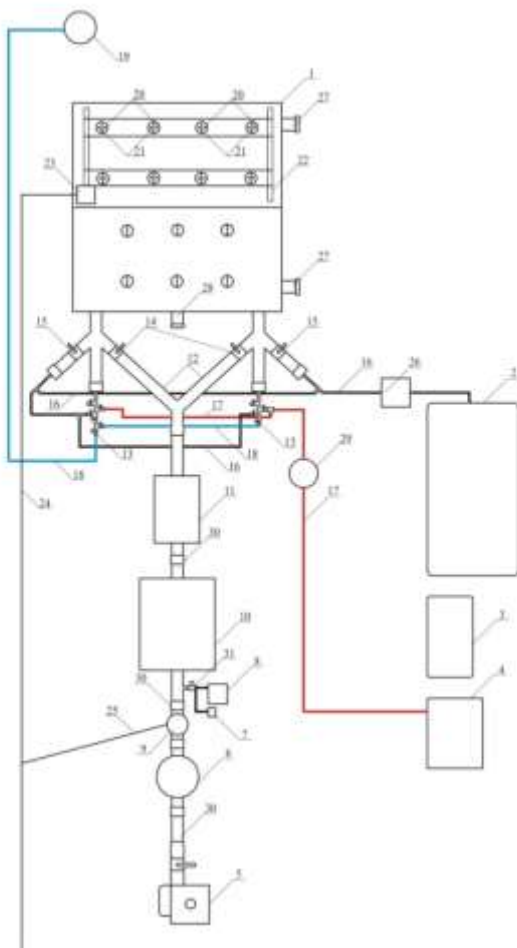


Рис. 1. Принципова схема експериментальної стендової установки: 1 – металевий ящик; 2 – робочий компресор; 3 – резервний компресор; 4 – парогенератор; 5 – димосос; 6 – фільтр очищення; 7 – портативний газоаналізатор VX-170; 8 – аналізатор газу трикомпонентний Casboard-3200L; 9 – витратомір; 10 – відстійник для конденсату; 11 – розширювальний бак; 12 –

газовідвідний трійник; 13 – керований високонапірний трубопровід; 14 – шарнірні крани газовідвідної гілки для реверсування; 15 – шарнірні крани повітря-подавальної вітки для реверсування; 16 – шланг високого тиску; 17 – високотемпературний шланг; 18 – кисневий шланг; 19 – кисневий балон; 20 – отвори для установлення реперних датчиків зсуву; 21 – отвори для установлення термопар; 22 – установка для реперних лінійок зсуву; 23 – з'єднувальна коробки мережних кабелів термопар і реперних датчиків зсуву; 24, 25 – мережний кабель термопар, реперних датчиків зсуву, витратоміра; 26 – витратомір для визначення подачі дуттєвої суміші; 28 – розпалювально-контрольний отвір; 29 – паровий ресивер; 30 – газовідвідний трубопровід; 31 – засувка для відбору проб газу.

Експериментальна установка складається з чотирьох основних складових частин:

1. Металевий ящик 1 з двома гідродомкратами, який призначений для моделювання породо-вугільного масиву при різних кутах падіння вугільного пласта;

2. Дуттєва вітки (2 – 4, 13, 15 – 19, 26, 29), призначена для подачі дуттєвих сумішей;

3. Газовідвідна вітка (5, 6, 10 – 12, 14, 30, 31), призначена для відводу генераторного газу та встановлення концентрації енергетичних газів способом відбору проб;

4. Контрольно – вимірювальна апаратура (7 – 9, 24 – 26).

Фотофіксація експериментальної установки у режимі «Проведення досліджень» наведена на рис. 2.



Рис. 2. Фотофіксація стендової експериментальної установки

Контроль за якісним складом генераторного газу проводився за допомогою газоаналізаторів VX-170, Casboard-3200L. Розхід дуттєвої суміші та вихід кількості генераторного газу контролювався за допомогою витратомірів ИРВИС-К300 з перетворювачами сигналу.

Для імітацій різних видів подачі дуття використовувалась компресорна установка, парогенератор, балони з вуглекислим газом та киснем.

Визначення параметрів розповсюдження температурного поля фіксувалось в окремих точках моделюючої області за допомогою стаціонарних термодатчиків (рис. 3а) з перетворювачами сигналу, обладнаних інтерфейсом «Терра». Контроль за процесом розпалювання вугільного пласта проводився переносним приладом вимірювання температури – пірометром (рис.3б).



Рис. 3. Загальний вигляд датчиків температури: а – термодатчики, б – робочий дисплей пірометра

Зміна стану геомеханічної ситуації породного масиву контролювалась реперними датчиками з оптичними датчиками лінійного переміщення (рис. 4). Встановлення величин переміщення, збереження та виведення даних здійснювалося за допомогою програмного забезпечення Monitor QV.



Рис. 4. Загальний вигляд апаратури контролю геомеханічної ситуації гірського масиву: а – основа реперного датчика, б – оптичні датчики зміщення

Моделювання процесу СПГВ за критеріями подібності до натурних умов.

Для імітації процесу підземної газифікації в реальних умовах на стендовій установці автором було встановлено необхідні масштабні коефіцієнти та умови подібності, що включають в себе: геометричну подібність об'єктів природи та моделі, пропорційність фізичних постійних природи та моделі, подібність початкового стану системи природи та моделі, подібність граничних умов системи.

Розміри стендової установки складають $2,2 \times 2,0 \times 2,5$ м. З урахуванням цих параметрів розміри моделюючого вугільного пласта становлять по падінню $H_M=2,2$ м, а по простяганню $S_M=2,0$ м.

Для моделювання породо-вугільної товщі визначався масштабний коефіцієнт, який зберігає постійне значення при переході від однієї точки

системи до іншої, але він змінюється при переході від одного явища до іншого. Масштабний коефіцієнт визначався на основі порівняння геометричних розмірів вугільного пласта в натурі $m_n = 1,1$ м та експериментального газогенератора $m_{м1} = 0,15$ м і становить $\alpha_l = \frac{1,1 \text{ м}}{0,15 \text{ м}} = 7,3$. Масштабні коефіцієнти тиску, часу, тепловідачі визначались відповідно з [3]. Експериментальні розміри змодельованого породо-вугільного масиву наведені в табл.1.

Таблиця 1

Потужність породо-вугільного масиву експериментального газогенератора

№ п/п	Осадова порода	Потужність породо-вугільного масиву моделі, м
1	Аргіліт	0,2
2	Вугільний пласт $m_{м2}$	0,12
3	Пісковик кварцовий	0,46
4	Аргіліт	0,37
5	Алевроліт	0,19
6	Пісковик кварцовий	0,3
7	Алевроліт	0,23
8	Аргіліт	0,18
9	Вугільний пласт $m_{м1}$	0,15

Процес моделювання породо-вугільного масиву на стендовій установці

Моделювання породо-вугільного масиву проводилось в два етапи. На першому етапі відбувалось моделювання вугільного пласта, на другому – надвугільної товщі. В якості еквівалентного матеріалу використовувались: куски вугілля розміром 200x150x100 мм, що за якісним складом відповідали досліджуваній ділянці; вугільний пил; вода та цемент марки 400.

У пласті залишався простір для імітації нагнітальної та газовідвідної свердловин та каналу газифікації. Реакційний канал формувався зі шматків вугілля фракцією 2,5 – 6,8 см, імітуючи гідророзрив пласта між експлуатаційними свердловинами

Для моделювання надвугільної товщі, як еквівалентний матеріал використовувались куски породи, каолінова глина, цемент та вода.

Збільшення жорсткості порід основної покрівлі забезпечувалося внесенням необхідної кількості породи відповідного ступеня метаморфізму, а також цементним розчином.

Теплоізоляція стендової установки дозволила зменшити втрати тепла. В якості теплоізоляційного матеріалу використовувався вогнетривка цегла, яка викладалася в один ряд по контуру стенда на висоту шарів літологічної різниці.

Результати дослідження. Спостереження за переміщенням пластів і процесом їх обвалення здійснювалось на 4 рядах (8 замірних точок) по падінню вугільного пласта. В процесі моделювання було опрацьовано чотири моделі при зміні глибини закладки реперних датчиків від 1,3 до 8,4 м. Характер переміщення порід масиву в кожній моделі мав як свої власні, так і спільні риси.

В результаті проведених досліджень встановлені залежності переміщення шарів літологічної різниці. Характер поведінки порід покрівлі в вертикальному напрямку фіксувався вимірювальною лінійкою табл. 2 та системою оптичних датчиків. На рис. 5 наведено початковий та кінцевий етапи досліджень при потужності міжпластя 1,3 м.



Рис. 5. Візуалізація характеру переміщення шарів літологічної різниці при міжпласті 1,3 м: а – 4 та б – 17 години експерименту

Таблиця 2

Зміна переміщень порід міжпластя в замірних точках

Ряд реперних датчиків	Відстань перпендикулярно вогневому вибою, $L_{в.в.}$, м							
	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,1
	Величина опускання, y , мм							
	Потужність міжпластя $h=0,18$ м							
1	25	57	64	66	72	70	72	68
2	26	58	66	68	79	83	79	74
3	26	58	67	72	77	81	74	70
4	22	55	66	70	74	73	69	66
	Потужність міжпластя $h=0,4$ м							
1	4	27	32	35	39	37	36	34
2	6	33	38	44	45	44	44	40
3	6	29	41	42	39	41	41	39
4	3	26	36	38	36	40	38	37
	Потужність міжпластя $h=0,71$ м							
1	0	5	13	17	16	17	17	15
2	0	6	19	25	26	25	21	21
3	0	4	15	22	24	25	22	20
4	0	0	11	14	18	18	18	18
	Потужність міжпластя в природі $h=0,9$ м							
1	0	0	3	4	4	4	5	4
2	0	0	5	5	6	8	8	7
3	0	0	5	8	8	8	8	7
4	0	0	3	5	5	6	6	5

Відповідність отриманих результатів поведінки гірського масиву в моделюючій області перевірялась шляхом внесення числового набору даних по переміщенню в паралельно-розподілену систему, що закладена у програмний продукт Surfer 8 [4].

Унаслідок чого були побудовані тривимірні (3D) моделі експериментального газогенератора, що відображають поведінку гірського масиву при різній потужності міжпластя. На рис. 6 автором наведено таку модель при потужності 0,4 м. Побудова відповідних моделей відповідає положенню загальноприйнятих теорій щодо процесів руйнування гірського масиву: теорія плит, теорія балок-полосок [5].

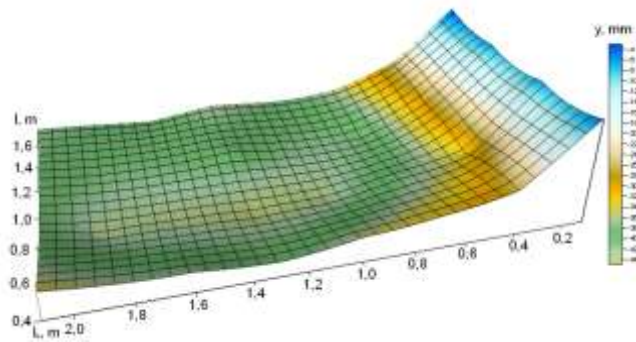


Рисунок 6 – 3D модель надвугільної товщі експериментального газогенератора при $h = 0,4$ м

На основі графічного відображення чисельних даних поведінки надвугільної товщі автором було отримано усереднену залежність рис. 7, яка відображає початок руху зони активних деформацій залежно від потужності надвугільної товщі.

Використовуючи масштабний коефіцієнт, було проведено перерахунок і встановлені деформаційні характеристики гірського масиву рис. 7 та техніко-технологічні параметри табл. 3 для реальних умов шахтного газогенератора. Величина міжпласта змінювалась від 1,3 до 8,4 м.

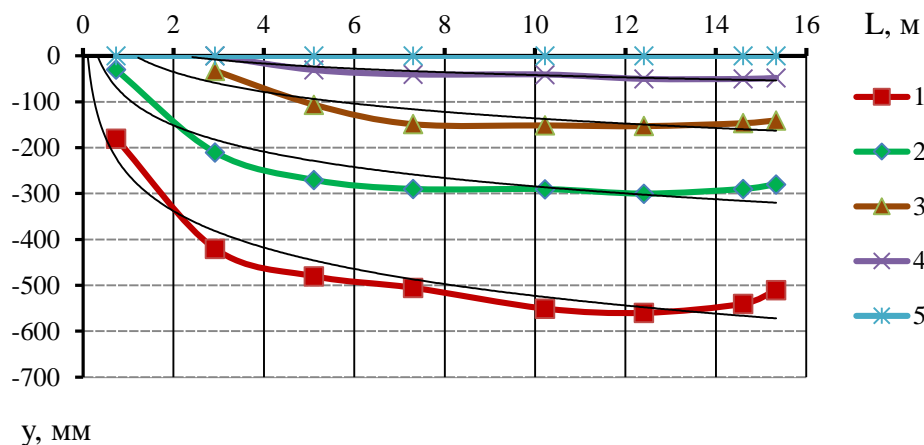


Рис. 7. Графіки опускань шарів порід міжпласта: 1 – 1,3 м; 2 – 3,0 м; 3 – 5,2 м; 4 – 6,6 м; 5 – 8,4 м

Таблиця 3

Результати показників роботи підземного газогенератора

Величини \ Доба	1	2	3	4	5	6
Об'єм газу, тис м ³	300	600	900	1201	1751	2051
К-сть вигазова-ного вугілля, т	120,12	240,24	360,36	480,48	700,6	820,72
Посування, м	2,8	5,6	8,4	11,2	14	16,8

Максимальні опускання порід на рівні 1,3 м настали на кінець 3 доби і рівні біля 0,6 м. На рівні 3,0 м стабільний режим опускань настав на середину 3 доби і становив біля 0,3 м. З величиною збільшення міжпласта опускання починають зменшуватись, на рівні 5,2 м – 0,15 м, 6,6 м – 0,01 м. На рівні 8,4 м режим опускань був відсутній при тривалості спостереження протягом 6 діб.

Опрацювання графіків опускань 1 – 5 за допомогою методів математичної статистики дозволило спрогнозувати допустиму величину випередження вогневих вибоїв L_{max} , при їх одночасній роботі в висхідному порядку.

При потужності міжпластя $h=1,3$ м максимально допустима величина випередження вогневих вибоїв знаходиться в межах 0,2 – 0,3 м, при $h = 3,0$ м – 0,5 – 0,7 м, $h = 5,2$ м – 1,1 м – 1,25 м, $h = 6,6$ м – 2,2 – 2,35 м (рис. 8).

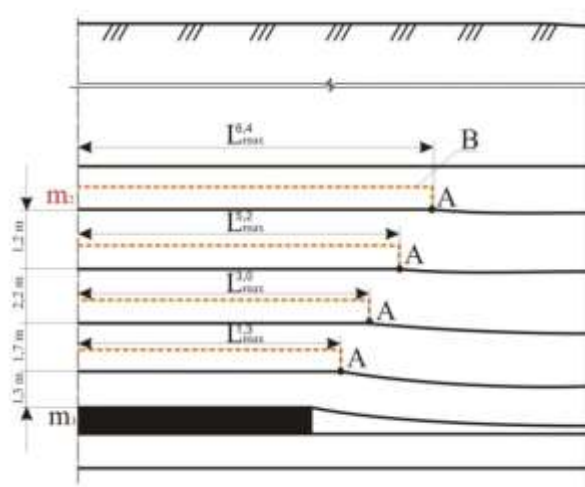


Рис. 8. Знаходження просторової лінії максимального випередження L_{max} залежно від потужності міжпластя: А – просторова точка розташування вогневого вибою, В – прогнозне розташування вугільного пласта

Висновок. На основі проведених досліджень автором було встановлено параметри просторового розміщення лінії максимального випередження вогневого вибою L_{max} при одночасному висхідному порядку вигазовування зближених тонких вугільних пластів технологією СПГВ, яка має знаходитися за зоною впливу максимальних деформацій та прогинів.

Врахування просторового розміщення лінії максимального випередження дозволяє ефективно управляти гірським тиском та забезпечити герметичність підземних газогенераторів.

Список літератури

1. Видобуток вугілля в Україні нині ведеться в 160 шахтах. Інфографіка. – Режим доступу: <http://www.ukrinform.ua>.
2. Дичковський Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах / Р.О. Дичковський. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 262 с.
3. Економічні й екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих та промислових територій / [Г.Г Півняк, О.С Бешта, П.І Пілов та ін.]. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 176 с.
4. Иванова И.А. Решение геологических задач с применением программного Р47 пакета Surfer: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология» / И.А. Иванова, В.А. Чеканцев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 92 с.
5. Савастьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород: [учеб. пособие] / А.В. Савастьянов, В.Г. Клочков. – К. : УМК ВО, 1992. – 276 с.
6. Лозинський, В. Г., Саїк, П. Б., Паваленко, О. В., & Кошка, Д. О. Аналіз сучасного стану і перспективи промислового застосування свердловинної підземної газифікації вугілля в Україні. Матер. IV междунар. научно-практич. конф. “Школа подземной разработки”. Днепропетровск: Национальный горный университет, 2010. – 351-363

Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.

Надійшла до редакції 05.12.2013