

## **ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ СУМІСНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ СПОСОБОМ СВЕРДЛОВИННОЇ ПІДЗЕМНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ**

В статті проведений історичний екскурс щодо відпрацювання запасів вугільних пластів на промислових станціях «Підземгаз» та тестових полігонах підземної газифікації. Запропонована технологічна схема сумісного відпрацювання свити тонких вугільних пластів. Встановлені напрямки наукового обґрунтування, розроблена модель газифікації свити вугільних пластів та проведена економічна оцінка запропонованих технологічних рішень.

В статье проведен исторический экскурс по технологиям отработки запасов угольных пластов на промышленных станциях «Подземгаз» и тестовых полигонах подземной газификации. Предложена технологическая схема совместной отработки свиты тонких угольных пластов. Установлены направления научных изысканий, разработана модель газификации свиты угольных пластов и проведена экономическая оценка предложенных технологических решений.

The historical digression of operation the industrial stations of «Podzemgaz» and test sets of underground gasification is conducted in the article. The flowsheet of the joint working off the thin coal seams is offered. Directions of scientific researches are set. The model of gasification of retinue of coal layers is developed. The economic evaluation of the offered technological solutions is conducted.

### **Вступ**

Одним із напрямів радикального технологічного удосконалення збільшення повноти та підвищення обсягів видобування запасів з тонких та вельми тонких вугільних пластів є застосування свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ). Розроблені сучасні технологічні схеми дають можливість здійснювати процес експлуатації також забалансових та покинутих ділянок шахтних полів на якісно новому рівні.

Суть процесу свердловинної підземної газифікації вугілля полягає в переводі вугілля з твердого стану в умовах природного залягання вугільного пласта в газоподібне паливо з наступним виводом його на земну поверхню по спеціально побудованим і обладнаним свердловинам. Підземна газифікація виключає важку працю гірників під землею і фактично не має обмежень для створення екологічно чистого підприємства.

### Історичний екскурс [1-3]

Вперше горючий газ з вугілля отримав англієць Мердок в 1792 р., як попутний продукт при виробництві «світильного масла». У 1880 році Д.І. Менделєєв висунув ідею підземної газифікації вугілля. Дальше цю ідею почав розвивати англійський учений Вільям Рамсей, але розроблений ним проєкт не був втілений в життя. Пріоритетне і провідне місце розробці підземної газифікації вугілля належить ученим СССР. Практично роботи по ПГВ почалися на початку 30-х років в трьох вугільних басейнах: Донбасі, Кузбасі і Мосбасі.

Перший проєкт станції «Підземгаз» був розроблений в 1928 році. Наукова ідея та її супровід належав відомому ученому О.М. Терпигореву, а керівництво проєктних робіт здійснював інженер І.П. Кириченко.

Перші дослідні роботи по ПГВ почали проводитись І. Е. Коробчанським, В.А. Матвеевим, В.П. Скафою і Д.І. Філіповим в 1933 році в Московському басейні на Крутовському буровугільному родовищі, в Донбасі – з лисичанським кам'яним вугіллям і в м. Шахти – антрацитом. Перші опити полягали в проведенні у підземних умовах газифікації вугілля в підземних шарових генераторах, які в той час широко застосовувались для отримання генераторного і водяного пару.

В кінці 40-х років відбулось будівництво і введення в експлуатацію перших дослідно-промислових станцій в містах Горловці, Лисичанську, Тулі з шахтною і напівшахтною підготовкою вугілля до газифікації. Внаслідок виявлення принципіальних недоліків в технології було прийнято рішення про розробку безшахтного способу підготовки газогенераторів і газифікації пласта вугілля. Першочергово конструктори і дослідники намагались перенести в підземні умови технологію засвоєну на практиці процесу газифікації в наземних газогенераторах. Вважали, що необхідно пробити вугілля під землею, так як в наземних газогенераторах процес газифікації проводився в шарі вугілля.

В Донбасі підземну газифікацію проводили на Лисичанській станції «Підземгаз». Станція одночасно розробляла 12 вугільних пластів. Газифікувались за кутом падіння (38-60°) кам'яновугільні пласти потужністю 0,5-1,8 м на глибині 60-300 м. Вміщуючі вугільний пласт породи – глиняні сланці і пісковики кам'яновугільного періоду. Вугільний пласт водоносний з напорами до 200-300 м над горизонтом розпалювання. Типовою властивістю для цих ділянок являється мала водообільність. Покрівля і підшва вугільних пластів представлені водоопорними породами. В даних умовах попередньо знімали напір підземних вод в вугільному пласті і проводили водовідлив з вигазованого простору.

Оцінюючи показники процесу ПГВ на Лисичанській станції, потрібно враховувати, що це одна із станцій на якій освоювали технологію безшахтної підземної газифікації з роздробленням вугільного пласта, де було отримано біля 672 млн. м<sup>3</sup> газу з теплотою згоряння 3,3 МДж/м<sup>3</sup>. Роздрібнення пласта проводилось при допомозі розривних зарядів, які розміщувались в свердловинах.

Характерною особливістю підземної газифікації на Лисичанській станції було застосування дуття, збагаченого киснем, необхідного із-за малої потужності пластів (до 1,2 м) і значної їх обводненості.

В 1935 році молоді інженери В.А. Матвеев, П.В. Скафа і Д.І. Філіпов розробили новий метод газифікації, який отримав назву метод «поток». При ПГВ методом «поток» не передбачалась необхідність попереднього роздроблення вугілля в пласті, тобто газифікувався цілик вугілля. Свою назву метод «поток» отримав тому, що нагнітаємо в один кінець горючого вугільного каналу повітря, проходячи по ньому, перетворювалось в горючий газ, який виходив з іншого кінця каналу. На основі цього методу проводились усі наступні роботи по ПГВ.

Із 1934 до 1941 рр. на Горлівській дослідній станції «Підземгаз» проводилися випробування потокового методу газифікації вугільних пластів з кутом падіння 70-75° і потужністю від 0,7 до 1,9 м. Уперше проводилися досліди з подачею в підземний газогенератор повітряного дуття збагаченого киснем  $O_2$ . У результаті експерименту підвищилася теплота згорання газу до 4,3 МДж/м<sup>3</sup>, концентрація горючих газів метану ( $CH_4$ ), монооксиду вуглецю ( $CO$ ) і водню ( $H_2$ ) зросли більш ніж на 45%, при цьому спостерігалось зниження виходу баластових газів азоту ( $N_2$ ) і вуглекислого газу ( $CO_2$ ).

Періодично станція перейшла на двохциклічний режим роботи. При цьому теплота згорання газу складала 4,55 -11,9 МДж/м<sup>3</sup>, концентрація метану ( $CH_4$ ), водню ( $H_2$ ) і оксиду вуглецю ( $CO$ ) – 71,3% у складі енергетичного газу.

Загальна кількість газу виробленого за період експлуатації станції 1934-1940 рр. становила 73,7 млн. м<sup>3</sup>.

Дослідно-промислові показники роботи Горлівської станції «Підземгаз» довели можливість промислової реалізації технології підземної газифікації вугілля з отриманням більш якісного продукту із впровадженням елементів керованості матеріальним балансом процесу.

В Дніпровському басейні на Південно-Синельниківському родовищі газифікували буровугільний пласт потужністю 3,5-5,0 м на глибині 80 м. Вміщуючими породами були глини і піски палеогенового віку розрихленої структури. В підшві вугільного пласта розташовувався потужний (до 30 м) водоносний горизонт з величиною напору до 50 м. Потужність над вугільного водоносного горизонту складала біля 20 м. В підшві вугільного пласта проводили водопониження. Протягом експерименту був отриманий газ з теплою згорання 2,9-3,0 МДж/м<sup>3</sup>.

При роботі експериментальних та промислових станцій підземної газифікації досить часто виникали питання щодо ув'язки робіт із газифікації на різних горизонтах при відпрацюванні свити вугільних пластів. Така проблема особливо гостро відзначалася на Лисичанській та Південно-Абінській станціях «Підземгаз». Досвід відпрацювання запасів на цих станціях показує, що основним фактором при розробці вугільних пластів свити є вибір раціонального порядку ведення робіт. Не відповідний порядок відпрацювання приводить до економічних втрат і екологічних аварій.

**Особливість підземної газифікації світи вугільних пластів**

Розміщення підземних газогенераторів при відпрацюванні світи вугільних пластів полягає в тому, щоб виключити взаємний вплив газогенераторів і вигазованих порожнин на суміжних пластах світи. Основний фактор, який необхідно враховувати при проектуванні підземних газогенераторів на світі пластів – це деформації, котрі проходять в гірському масиві при утворенні вигазованих порожнин. Це приводить до виникнення процесів, котрі впливають на процес підземної газифікації: зміна водопроникності вміщаючих порід; деформація технологічних свердловин, яку необхідно уникнути, щоб не проводити буріння свердловин для кожного пласта світи окремо.

Одночасне відпрацювання запасів світи вугільних пластів можливе лише при розкритті шахтного поля за допомогою багатоярусних свердловин (рис. 1). При цьому виникає ряд проблемних питань, які необхідно вирішити. У першу чергу ускладнюється процес виконання бурових робіт, встановлення заокруглень свердловин і їх утримання, сам процес запалення та пуск газогенераторів, утримання вибоїв на відстані випередження, управління станом гірського масиву та ін. [4-6].

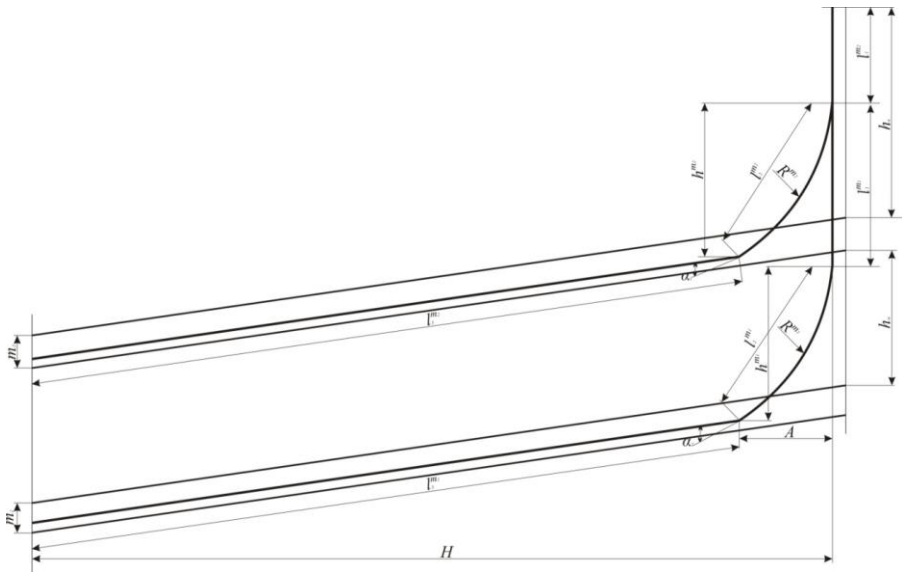


Рис. 1. Елементи багатоярусної свердловини при розкритті вугільних пластів

Конфігурація використання ствола багатоярусної свердловини повинна забезпечувати: високу якість свердловини, як експлуатаційного об'єкта; вільне проходження по стволу свердловини дугтевих і газовідвідних труб; можливість застосування одночасної експлуатації на декількох горизонтах; мінімальні затрати на спо-

рудження свердловин. При багатоярусному бурінні профіль направлених свердловин повинен забезпечувати економічно раціональну кількість свердловин.

Проектування направленої свердловини для розкриття свит вугільних пластів з метою підземної газифікації корисної копалини полягає у виборі типу і виду профілю, і в визначенні необхідних параметрів:

- глибини і відхилення ствола від вертикалі;
- довжини похилої частини свердловини;
- значень максимальних радіусів кривизни, враховуючи кількість експлуатаційних труб.

Методика визначення довжин вертикально-похилих свердловин призначених для газифікації вугільних двох вугільних пластів представлена в табл. 1.

Таблиця 1

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИН БАГАТОЯРУСНИХ СВЕРДЛОВИН  
ДЛЯ ДОСЛІДНОЇ ДІЛЯНКИ СОЛЕНОВСЬКОГО РОДОВИЩА

Дільниця профілю	Довжина, м
Вертикальний для пласта нижнього пласта	$l_1^{m_2} = h_n + m_2 - 0,3m_2 - h^{m_2}$
Набір зенітного кута для нижнього пласта	$l_2^{m_2} = 0,0174R^{m_2} \alpha_1$
Прямий похилий для нижнього пласта	$l_3^{m_2} = (H - A) / \cos \alpha_1$
Вертикальний для верхнього пласта	$l_1^{m_1} = h_i + m_2 + h_i + m_1 - 0,3m_1 - h_2^{m_1}$
Набір зенітного кута для верхнього пласта	$l_2^{m_1} = 0,0174R^{m_1} \alpha_2$
Прямий похилий для верхнього пласта	$l_3^{m_1} = (H - A) / \cos \alpha_2$

де  $h_n$  – потужність наносів, м;

$m_2, m_1$  – потужності пластів, м;

$\alpha_1, \alpha_2$  – кути падіння пластів, град;

$R$  – радіус викривлення свердловини, м;

$h_i$  – потужність порід міжпласта, м;

$H$  – довжина ділянки призначеної для газифікації, м;

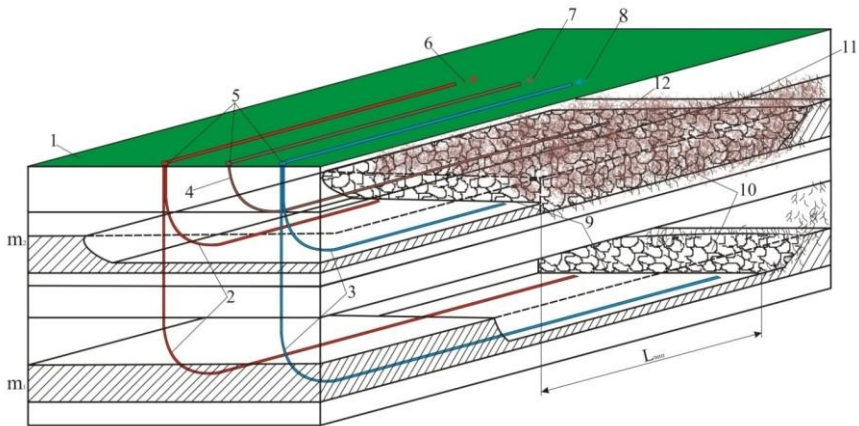
$A$  – величина зміщення вибою від вертикалі, м.

Для перевірки запропонованої методики розглянемо можливість її застосування при розробці залишених запасів одного із родовищ Центрального району Донбасу. Для даної ділянки запропонований низхідний порядок з одночасним вигазовування двох вугільних пластів зі створенням штучного екрану по верхньому пласту. Цей екран дозволяє уникнути взаємного впливу газогенераторів один на одного. Відпо-

відно, таким чином забезпечується технологічність процесу газифікації та запобігання втрат дуттєвої суміші [7-9].

Така схема відпрацювання також має важливе значення для забезпечення відповідності гідрологічних умов процесу газифікації. Нижній пласт слугує для дренажу води та його відведення із зони геореактора. Це є особливо важливим при відпрацюванні обводнених вугільних запасів із притоками води у зону газифікації понад 5 м<sup>3</sup>/т.

Випередження вогневого вибою дренажного генератора повинно становити 40-80 м у залежності від гірничо-геологічних умов вугільного родовища. Інтенсивність процесу вигазовування вугільного пласта ґрунтується на водонасиченості масиву.



*Рис. 2. Технологічна схема сумісного відпрацювання вугільних пластів: 1 – поверхня землі; 2 – газовідвідні свердловини; 3 – дуттєві свердловини; 4 – закладний трубопровід; 5 – головки експлуатаційних свердловин; 6 – напрямок руху продуктів СПГВ; 7 – напрямок руху закладного матеріалу; 8 – напрямок руху дуттєвої суміші; 9 – реакційний канал; 10 – вигазований простір; 11 – закладний матеріал; 12 – перфорована частина закладного трубопроводу*

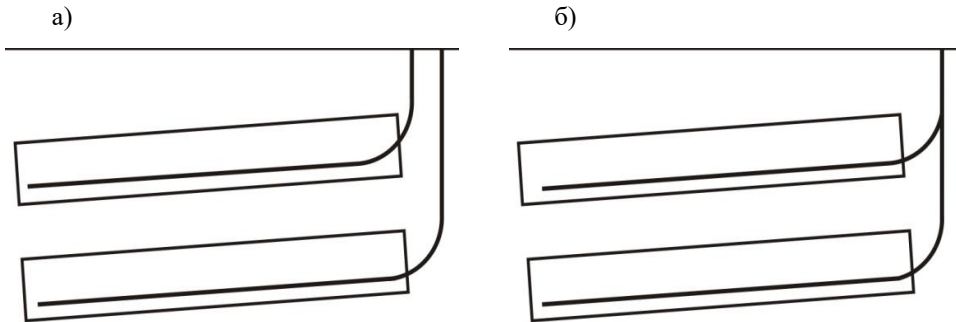
### Економічна оцінка

Економічну оцінку прийнятих технологічних рішень проведемо шляхом порівняння необхідних затрат при підготовці, розкритті вугільних пластів при роздільно-му бурінні свердловин і при бурінні спільного вертикального профілю (рис. 3).

Розрахунок вартості проведення та підготовки панелі вугільного блока для процесу підземної газифікації паралельними вертикально-похилими свердловинами базується на основі даних компаній, які здійснюють направлене буріння.

Для здійснення підготовки панелі спершу слід провести підготовку ділянки до буріння, сейсмозв'язку місцевості та постійний моніторинг за станом свердловин. Буріння здійснюється з поверхні вертикальними свердловинами по пустим породам,

після чого проводиться буріння похилих свердловин безпосередньо по вугільному пласту на відстані 30% вугільного пласта над основною підшовою.



**Рис. 3. Схема спорудження експлуатаційних свердловин:  
1 – роздільне буріння; 2 – сумісне буріння**

*Таблиця 2*

**ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОЗРОБКИ ВУГІЛЬНОЇ ПАНЕЛІ ПРИ  
РОЗДІЛЬНОМУ ВІДПРАЦЮВАННІ ПЛАСТІВ**

Стаття витрат	Один. вим.	Вартість од., грн	Кількість на верхньому пласті	Кількість на нижньому пласті	Загальна вартість на верхньому пласті	Загальна вартість на нижньому пласті	Загальна вартість, грн
Сейсморовідка і моніторинг	м <sup>2</sup>	30	420*30	560*30	378000	378000	756000
Дугтева вертикально-похила свердловина	м	2700	495	560	120000	120000	240000
Газовідвідна вертикально-похила	м	2700	495	560	1136500	1512000	2648500
Підготовка ділянки до буріння	св-на.	6000 0	2	2	1136500	151200	2648500
Проведення гідророзриву	м	600	5	5	3000	3000	6000
Обладнання свердловин	м	210	495	560	207900	235200	443100
Вартість послуг спеціалістів направлено буріння	чол.	240	4*495	4*560	950400	1075200	2025600
Непередбачувані витрати	%	–	15	15	593202	725310	1318512
<b>Всього</b>		-	-	-	4525502	2839110	10086212

Процес буріння вертикально-похилих свердловин включає наступні статті витрат:

- сейсморовідка і моніторинг вугільної ділянки;
- підготовка ділянки до буріння;

- буріння дуттєвої вертикально-похилої свердловини;
- буріння газовідвідної вертикально-похилої свердловини;
- проведення гідророзриву;
- обладнання свердловин;
- послуги бригади спеціалістів направленої буріння;
- інші витрати.

Результати економічної оцінки при роздільній розробці вугільних панелей наведено у табл. 2, а при сумісній розробці панелей у табл. 3.

*Таблиця 3*

**ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОЗРОБКИ ВУГІЛЬНОЇ ПАНЕЛІ  
ПРИ СУМІСНОМУ ВІДПРАЦЮВАННІ ПЛАСТІВ**

Стаття витрат	Одн. вим.	Варт. од., грн.	Кількість на пласті	Загальна вартість, грн.
Сейсморозвідка і моніторинг	м <sup>2</sup>	30	2*420*30	756000
Дуттєва вертикально-похила свердловина	м	2700	930	120000
Газовідвідна вертикально-похила	м	2700	930	2511000
Підготовка ділянки до буріння	св-на	60 000	2	2511000
Проведення гідророзриву	м	600	2*5	6000
Обладнання свердловин	м	210	2*930	390600
Вартість послуг спеціалістів направленої буріння	чол.	240	4*2*930	1785600
Непередбачувані витрати	%	–	15	1212030
<b>Всього</b>	–	–	–	9292230

Виходячи із проведеної економічної оцінки, ефект від впровадження технології сумісного відпрацювання запасів вугільних пластів складає біля одного мільйона гривень.

**Висновки**

У даній роботі автори зробили спробу провести вирішення актуальної науково-практичної задачі обґрунтування технологічних параметрів свердловинної підземної газифікації вугілля при відпрацюванні свити вугільних пластів. Було доведено, що існуючі критерії щодо розробки таких вугільних запасів із застосуванням технології підземної газифікації ґрунтуються на застарілих підходах. Запропоновані технологічні схеми сумісного розкриття, підготовки та відпрацювання газогенераторів дають можливість майже удвічі підвищити продуктивність роботи стації без додатково задіяних площ шахтних полів. Це значно розширює область застосування самої технології свердловинної підземної газифікації вугілля.



Виходячи із результатів розрахунків запропонована технологія відпрацювання свити тонких вугільних пластів є ефективно вигідною. Проведений аналіз та виконані обґрунтування показують економічну доцільність сумісного відпрацювання запасів двох пластів при порівнянні із окремою газифікацією кожного з них.

Такий підхід можливо застосувати також при відпрацюванні потужних вугільних пластів при пошаровому вигазуванні запасів. У цьому випадку кожен шаг газифікації обґрунтовується згідно із критеріями та визначаються доцільні розміри випередження руху геореакторів.

### Список літератури

1. Скафа П.В. Подземная газификация угля. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 169 с.
2. 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 міжнар. наук.-практ. конф. «Школа підземної розробки». – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2010. – С. 279-287.
3. Фальштинський В.С.. Удосконалення технології свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ) //Монографія. – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – 131 с.
4. Савостьянов О.В., Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Руських В.В. Механізм поведінки породної товщі при свердловинній підземній газифікації тонких вугільних пластів // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №10. – С. 12-16.
5. Булатов А.И., Аветисов А.Г. Справочник инженера по бурению: В 4 т. – М.: Недра, 1993-1996. – Т.1-4.
6. Спосіб підземної газифікації потужних пластів твердого палива [Текст]: пат. 50753 UA Україна: МПК (2009) E21B 43/00/ Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Табаченко М.М., Медяник М.Ю., Кошка О.Г., Лозинський В.Г. – № u2009 12713; заявл. 07.12.09; опубл 25.06.10, Бюл. №12.
7. Lozynskiy, V. G. (2010) Mathematical Model of Rockmass Behaviour in Underground Coal Gasification. The 5<sup>th</sup> International Forums for Students and Young Researchers «Widening our horizons». 61.
8. Falsztinskij, W., Diczkowskij, E., & Łozinskij, G. (2010). Ekonomiczne uzasadnienie celowości doszczelniania skał stropowych nad obszarem podziemnego zgazowania węgla metodą otworów wiertniczych. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko/Główny Instytut Górnictwa, (3), 51-59.
9. Фальштинський, В. С., Дичковський, Р. О., Станьчик, К., Свядровські, Є., & Лозинський, В. Г. (2010). Обґрунтування технологічних схем експериментального шахтного газогенератора. Науковий вісник Національного гірничого університету, (3), 34-38.