

ВИДОБУВАННЯ ШАХТНОГО ГАЗУ МЕТАНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Є.О. Воробйов, проф.; **М.О. Ніколенко, канд. техн. наук;**
Н.О. Брянська

Донецький національний технічний університет, Автомобільно – дорожній інститут

У статті наводиться аналіз стану і перспективи видобування газу метану вугільними шахтами Донбасу. Розроблені пропозиції використання колективного способу дегазації вугільних пластів з відводом метану із застосуванням свердловин, пробурених з поверхні та із підземних виробок розташованих по пласту і в породах покриву, що забезпечує скорочення викидів в атмосферу газу метану з відпрацьованим вентиляційним повітрям, та використання газу метану як палива. Наведено приклад використання метану як палива шахтної котельні замість вугілля.

Народне господарство України щороку потребує 75 - 80 млрд. м³ природного газу. Більша частина потреб (70%) задовольняється поставками із зарубіжних країн (Росії та Туркменістану). Разом з тим вугільні родовища вміщують в собі близько трьох трильйонів кубічних метрів газу метану, теплотворна спроможність якого не гірша від природного газу.

Генезис метану пов'язаний безпосередньо з процесом метаморфізму вугільної речовини, яка в концентрованому вигляді складає вугільні пласти і прошарки, а в розсіяному стані знаходиться в породах гірничого масиву.

Оцінити ресурси метану із вугільного пласта і те, що виділяється із порід покриву можна визначити за допомогою [2].

Аналіз розрахунків, виконаних для умов вугільних пластів (m_5 , m_3 , k_5 , l^h_4 , l_4) шахт центрального району Донбасу показав, що кількість метану, який виділяється із порід покриву відповідає в середньому кількості метану, який виділяється із пласта (природній газонасності).

З глибинної розробки вугільних пластів об'єм виділення метану зростає на горизонтах більше 1000 м і досягає 30 м³/т видобутого вугілля. Окрім постійних безперервних виділень метану, відбувається непередбачене спонтанне виділення метану - суфляри та раптові викиди метану та вугілля.

Викидонебезпечність масиву тим вища, чим вища напруга та газонасність вугілля і чим менше міцність пласта. Тільки за рахунок потенціальної енергії газу може бути здійснена робота щодо заповнення подрібненим вугіллям гірничих виробок довжиною до сотень метрів. У цих випадках створюються аварійні ситуації із зупиненням виробництва. Окрім того, висока газонасність збільшує небезпечність вибухів метану в шахтах та перешкоджає ефективному використанню сучасної високопродуктивної прохідницької та видобувної техніки. При газонасності вугілля 5 - 7 м³/т використання механізованих комплексів стає екологічно та економічно неефективним.

Запобігання виділенню метану має велике народногосподарське та соціальне значення, воно здійснюється у двох напрямках: розбавлення виділеного метану повітрям до небезпечної концентрації і викиди на поверхню вентиляторами головного провітрювання. В середньому на одну тону видобутого вугілля в багатогазових шахтах подається до 10 м³/хв

повітря. При цьому витрати електроенергії досягають більше ніж 1 млрд кВт/год. рік.

Другим напрямком є дегазація джерел утворення метану – штучне збирання та ізолювання від гірничих виробок, відведення по газопроводах на поверхню висококонцентрованих метаноповітряних сумішей під вакуумом, що утворюється спеціальними вакуум-насосами.

Таким чином, використання дегазації вугільних пластів дає можливість отримання додаткового попутно добуваного газоподібного палива, придатного для використання в шахтних котельнях замість вугілля, забезпечуючи при цьому скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Незважаючи на дійсну проблему добування і утилізації метану із вугільних пластів, в цей час їх дегазація в Донецькому басейні здійснюється незадовільно. Із 180 діючих шахт тільки 66 обладнані діючими дегазаційними системами. Як показав проведений аналіз, дегазація в основному проводиться за допомогою свердловин, проведених із підземних виробок до перетину із вугільним пластом. У результаті проведених досліджень в умовах шахт ДП «Артемвугілля» під час дегазації пластів «Дерезовка», «Дев'ятка», «Товстий» та інших, дебіт метану складав 0,2 - 0,3 м³/хв, концентрація метану в газоповітряній суміші 12 - 46%, час роботи свердловин 3 - 7 місяців. Із 200 млн м³ газу, який видобувається із свердловин, утилізується тільки 80 млн м³ на рік як паливо шахтних котельень. Інша частина не використовується за умовами вибухонебезпечності і викидається в атмосферу, забруднюючи її. Всього шахтами України викидається близько 3,0 млрд м³ газу на рік.

Враховуючи такий стан робіт, нами розроблена пропозиція видобування газу метану здійснювати комплексною дегазацією, яка складається із дегазації вугільного пласта способом інтенсифікації з використанням гідродинамічної дії, дегазації порід покриву з використанням технології криволінійних свердловин, розробленої США, ФРН, та вертикальними свердловинами, пробуреними з поверхні.

Всі три способи тісно пов'язані між собою джерелом метану, тому корисно оцінити долю кожного із них у загальному ефекті дегазації.

Виникла ідея способу ініціювання керованого гідродинамічного явища на заданій ділянці газонакопиченого пласта. Відомо, що газодинамічне явище виникає внаслідок різкої зміни напруженого стану вугільного пласта і супроводжується частковим або повним розпадом вугілля та бурхливим виділенням газу. Спосіб гідродинамічної дії передбачає порушення механічної і газової рівноваги в системі «свердловина-вугільний пласт» шляхом здійснення циклічної знакозмінної зміни тиску в невеликому діапазоні перепадів від 2 до 4 мПа. Сутність процесу гідродинамічної дії полягає в прикладенні до вільних поверхонь вугільного пласта знакозмінних навантажень, які утворюються подачею в пласт робочої рідини під тиском з подальшим його зменшенням у свердловини. Під час подачі рідини відкриті пори вугілля заповнюються водою, при цьому по каналах, розміром до 10⁻⁷ см, відбувається пряма фільтрація, а пори з меншими розмірами заповнюються водою за допомогою капілярного підняття, у подальшому ця вода в фільтраційному процесі не бере участі, залишаючись нерухомою і чинить значний гідравлічний опір зворотному руху рідини та газу під час зменшення тиску в системі.

У момент зменшення тиску здійснюється різке порушення рівноваги в системі. Рідина і газ, що витісняє її, рухаються у бік свердловини разом, швидкість зміни тиску в системі значно випереджує швидкість зворотної фільтрації. Утворений градієнт тиску відокремлює наповнений водою шар вугілля, при цьому утворюються нові поверхні, що викликає стрімку десорбцію газу, що, в свою чергу, сприяє руйнуванню вугілля.

Повторення циклів збільшення-зменшення тиску в свердловині продовжується до розвитку процесу «самопідтримного руйнування», який по суті є газодинамічним явищем, керованим засувкою. При утворенні достатньої кількості каналів для робочої рідини процес гідродинамічної дії загасає. У середині вугільного масиву утворюється зона розкріпленого вугілля зі значною поверхнею оголення, з як ої десорбується газ, при цьому газовиділення із свердловини продовжується протягом тривалого часу. Швидка десорбція газу зумовлює його високий тиск (концентрацією до 100%), що дозволяє здійснювати його транспортування без використання вакуумної установки. В результаті широкої апробації способу в різних гірничо-геологічних умовах встановлено, що швидкість газовиділення, у порівнянні з початковою, яка не перевищує $0,11 \text{ м}^3/\text{год}$, збільшується в 1000 разів [3]. Одержані дані випробувань способу дозволяють стверджувати про високу ефективність його використання при видобуванні метану.

На шахті ім. А.Ф. Засядько технологія видобування метану способом інтенсифікації дегазації була випробувана на пласті l_1 . Із ніш, утворених у пластовому відкаточному штреку було пробурено три свердловини на відстані 50 м одна від одної по вугільному пласту діаметром 150 мм і довжиною 100 м. Після гідравлічної дії швидкість метану перевищувала $700 \text{ м}^3/\text{доб}$ ($0,5 \text{ м}^3/\text{хв}$), дебіт газу із свердловини складав 100 тис. м^3 , концентрація метану в газоповітряній суміші – близько 100%. Газоповітряну суміш такої концентрації метану використовували як паливо котельні без спеціальної підготовки.

Таким чином, впровадження розробленої технології дає гарні результати, дозволяючи судити про перспективність та високу ефективність вирішення проблеми дегазації пласта, але така ефективність недостатня для забезпечення безпеки робіт, тому необхідно додатково дегазувати покрив пласта.

Для підвищення видобування газу із порід покриву можливо використати технологію, розроблену в США і ФРН, основу на новій технології буріння, яка ґрунтується на утворенні криволінійних свердловин, горизонтальна частина яких розміщується над пластом, який розроблюється. Свердловини повністю обладнуються трубами, а газоприймальну горизонтальну частину труб перфоруєть, довжина її досягає до 500 м.

Головною перевагою таких свердловин є довгий термін функціонування. Найбільше надходження газу в лаву відбувається із зруйнованих поділених на блоки порід відпрацьованого простору. У вищерозміщених породах газ акумулюється. У зв'язку з цим під час буріння довгих дегазаційних горизонтально спрямованих свердловин над вугільним пластом необхідно, в першу чергу, вилучити газ із зруйнованих порід і забезпечити роботу свердловини на довгий термін. Цим вимогам відповідає розміщення свердловин в покриві на відстані 30 - 40 м в зоні тріщинуватих порід. Випробування нової технології буріння в ФРН дало позитивні результати, у свердловині з довжиною горизонтальної (перфорованої) частини – 460 м видобували метану $8 - 16 \text{ м}^3/\text{хв}$. На початку доробки свердловини, коли відстань від устя до очисного забою дорівнювала 400 м, вихід метану складав незначну частку у міру наближення забою до устя, вихід газу збільшувався.

Аналіз показує, що з точки зору ефективності дегазації спрямовані криволінійні свердловини мають переваги, як що бурити їх з інтервалом 200 м. Незважаючи на переваги, технологія буріння криволінійних свердловин складна, обладнання дороге і потребує значних витрат електроенергії, в зв'язку з цим не дістала значного поширення в вугледобувних країнах і в Україні. Тому для комплексної дегазації доцільно використовувати звичайні прямі свердловини в породах

покриву, з використанням існуючого на шахтах обладнання, з інтервалом буріння 100 м. Досвід дегазації з використанням прямих свердловин шахтою ім. А.Ф.Засядько показує високу ефективність - дебіт метану в середньому складає 13,9 - 33,5 м³/хв (із трьох свердловин), концентрація метану газоповітряній суміші - 70%. Частина газу метану, яка розсіяна в породах, що залягають вище покриву може бути вилучена за допомогою дегазаційних свердловин, пробурених з поверхні, вони зменшують приплив газу в гірничі виробки і в підземні свердловини, зменшуючи їх метановидобуток.

Особливістю способу дегазації з поверхні є те, що свердловина перетинає як вугільні, так і породні пласти, тому дегазуються і ті і інші. Разом з тим продуктивність газовіддачі при цьому уповільнюється через незначну поверхню контакту свердловини з пластами, які перетинаються, для її збільшення використовують технологію гідродинамічної дії.

Дегазація гірничого масиву з використанням гідродинамічної дії через свердловини, пробурені з поверхні, здійснюється так.

З поверхні на задану глибину буриться свердловина діаметром 150 мм, яка обсаджується трубами. В місцях контакту свердловини з газонаповненими пластами здійснюють перфорацію труб. Під нижнім пластом залишається зумпфова частина для magazинування в процесі гідродинамічної дії відбитого вугілля. Враховуючи особливості розміщення свердловин тиск нагнітання рідини необхідно збільшити до 15 МПа. Із досвіду дегазації пласта m₃ шахти ім. А.Ф.Засядько, вертикальна свердловина починає інтенсивно виділяти метан після проходження лави за забій і складає 5 - 56 м³/хв, причому збільшується у міру відходу від лави. Дебіт метану із прямих підземних свердловин при цьому зменшується від 34 м³/хв до 14 м³/хв. Після закінчення очисних робіт свердловина продовжувала функціонувати близько одного року. Середній об'єм метану із свердловини без вакуумування за 460 діб роботи складає 840 тис. м³, концентрація газоповітряної суміші близько 96% [3].

Виконаний аналіз випробувань способів попередньої дегазації пласту показав її високу ефективність видобування, за кожним з них газоповітряна суміш має високу концентрацію метану і може бути використана як паливо, або хімічна речовина без спеціальної підготовки. Для дегазації пластів добувних ділянок з високою продуктивністю видобування вугілля необхідно комплексно використовувати вищерозглянуті способи.

Ефект, який очікується від впровадження наданих рекомендацій, розглянемо при комплексній дегазації пласта l₄ «Дев'ятка» шахти ім. Гайового ДП «Артемвугілля». Схема розміщення свердловин подана на рис.1. Оцінка ресурсів метану вугільного пласту l₄ складена відповідно до розглянутих способів і виконана відповідно до [1]. Кількість газу, який виділяється в лаву при видобуванні 1 т вугілля, визначається із виразу

$$Q_e = \frac{(Q - Q_o) \cdot (100 - A - W)}{100}, \quad (1)$$

де $Q = 25$ м³/т - газонасність пласта;

$Q_o = 2,6$ м³/т - остаточно газонасність відповідно до [3];

$A = 19\%$ - робоча зольність;

$A_m = 13\%$ - материнська зольність;

$W = 0,9\%$ - аналітична вологість;

$$Q_e = \frac{(25 - 2,6) \cdot (100 - 19 - 0,9)}{100} = 17,9 \frac{m^3}{t};$$

$$Q_{\text{в.м}} = \frac{(25 - 2,6) \cdot (100 - 13 - 0,9)}{100} = 19,3 \frac{\text{м}^3}{\text{т}}$$

Величина оголеної поверхні порід покриву при видобуванні 1 т вугілля визначається із виразу

$$S = \frac{1}{1,3 \cdot h_{\text{в}} + 2,5 \cdot h_{\text{п}}}, \quad (2)$$

- де $1,3 \text{ т/м}^3$ – щільність вугілля;
 $h_{\text{в}} = 1,58 \text{ м}$ – товща пачок вугілля, які виймаються;
 $h_{\text{п}} = 0,15 \text{ м}$ – товща пачок порід, які виймаються;
 $2,5 \text{ т/м}^3$ – щільність породи.

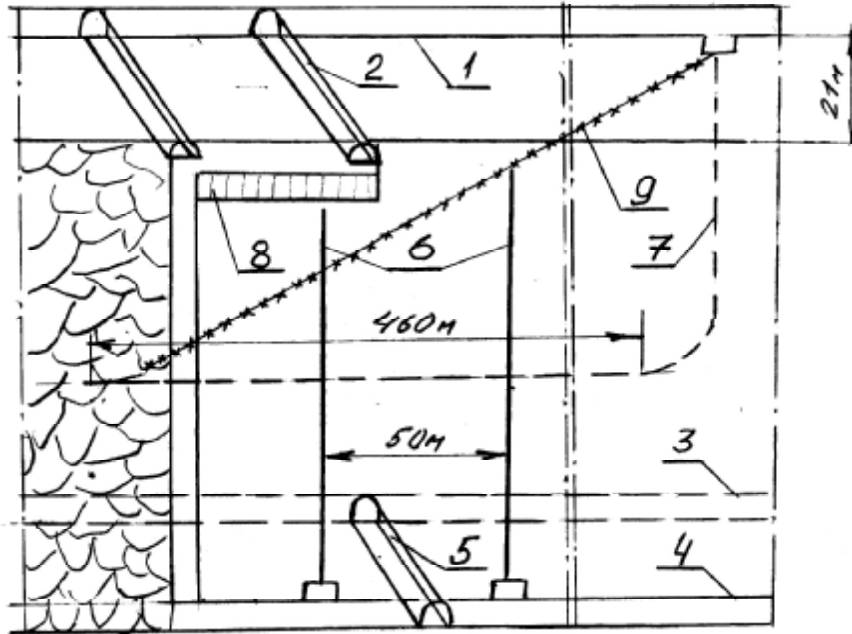


Рисунок 1 - Схема розміщення дегазаційних свердловин
 1 - Груповий вентиляційний штрек; 2, 5 - промквершлаг;
 3 - груповий відкаточний штрек; 4 - пластовий відкаточний штрек;
 6 - свердловина по пласту; 7 - свердловина криволінійна в породах покриву;
 8 - щитовий агрегат АНЩ; 9 - пряма свердловина в породах покриву (замість криволінійної)

$$S = \frac{1}{1,3 \cdot 1,58 + 2,5 \cdot 0,15} = 0,41 \text{ м}^2.$$

Відстань від покриву пласта до зони формування тріщин в масиві, в якій рекомендується прокладання дегазаційних горизонтальних свердловин, визначається за виразом

$$H = \frac{c \cdot t}{\varepsilon \cdot \Delta k}, \quad (3)$$

- де $c = 0,1 \dots 0,2$ – коефіцієнт горизонтальних деформацій слоїв;
 $t = 1,7 \text{ м}$ – товща пласта;
 $\varepsilon = 0,01 - 0,012$ – гранична відносна деформація тиску гірських порід;

$\Delta k = 0,75 / (0,75 - 0,16 \cdot a / p)$ – поправковий коефіцієнт;
 $a = 58^\circ$ – кут падіння порід;
 $p = 57^\circ$ – перевідний коефіцієнт;

$$\Delta k = \frac{0,75}{\left(0,75 - 0,16 \cdot \frac{58}{57}\right)} = 1,27,$$

$$H = \frac{0,15 \cdot 1,7}{0,01 \cdot 1,27} = 19,6 \text{ м.}$$

Газовиділення із порід покриву визначається за виразом

$$Q_m = 0,01 \cdot S \cdot h \cdot C_2 \cdot Q_{em},$$

де h – товща порід (табл. 1);

C_2 – середній вміст РОР (розсіяних речовин[2] в породах) (табл. 1).
 Результати розрахунку подані в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку за формулою (4)

| Назва порід | Товща слоїв h , м | Вміст РОР, % | Об'єм метану, m^3 |
|-------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Піщаник | 13,4 | 0,3 | 0,32 |
| Алевроліти | 4 | 8 | 1,9 |
| Аргіліти | 2,2 | 6 | 1,4 |
| Всього | 19,6 | | 3,62 |

Кількість вільного газу, який вміщується в піщанику визначається із виразу

$$Q'_n = 0,01 \cdot S \cdot h \cdot k \cdot p \cdot k_{вил.}, \quad (4)$$

де $h = 13,4$ м – товща піщанику;

$k = 2,1\%$ – коефіцієнт пористості;

$\gamma = 1 \text{ т/м}^3$ – щільність води;

$p = 0,1 \cdot \gamma \cdot H$;

$H = 1090$ м – глибина розробки пласта;

$k_{вил.} = 0,75$ – коефіцієнт вилучення газу.

$$p = 0,1 \times 1 \times 1090 = 109 \text{ бар},$$

$$Q'_n = 0,01 \cdot 0,41 \cdot 13,4 \cdot 2,1 \cdot 109 \cdot 0,75 = 9,43 \text{ м}^3 / \text{т}.$$

Таким чином, ресурс газу, що знаходиться у вільному стані в породах покриву,

$$Q_n^p = 3,62 + 9,43 = 13,05 \text{ м}^3 / \text{т}.$$

Для умов сходження лави пласта l_4 при довжині 120 м і видобутку вугілля 275 т/доб. ресурс метану в рік складає: $8600 \cdot 365 = 3,14$ млн m^3 .

Досвід випробувань запропонованих технологій показує, що тільки 75% ресурсу газу гірничого масиву може бути дегазовано. Враховуючи це, при дегазації пласта “Дев’ятка” комплексним методом кількість одержаного газу складає $6500 \text{ м}^3/\text{доб}$.

Відповідно до [4] питома теплота спалювання шахтного метану складає $Q_{\Gamma} = 38,8$ мДж/м³, що значно більше від теплоти спалювання вугілля $Q_{\text{в}} = 21,5$ мДж/м³, яке використовується шахтною котельнею як паливо.

Кількість газу метану, необхідного для утворення тепла замість вугілля, визначається з виразу

$$G_{\text{газу}} = \frac{Q'_{\text{вуг}}}{Q_2}; \quad (5)$$

$$Q'_{\text{вуг}} = \frac{A}{T} \cdot Q_{\text{в}} \cdot \frac{1}{0,741}, \quad (6)$$

де $A = 10000T$ – витрати вугілля котельнею за рік;
 $T = 365$ днів – кількість днів роботи;
 $0,74$ кг – питома вага 1 м³ метану;

$$Q'_{\text{вуг}} = \frac{10000}{365 \cdot 24 \cdot 60} \cdot 21,5 \cdot \frac{1}{0,74} = 552 \text{ мДж / хв},$$

$$G_{\text{газ}} = \frac{552}{38,8} = 14,2 \text{ м}^3 / \text{хв},$$

або $14,2 \cdot 60 \cdot 24 = 20448$ м³/доб.

Враховуючи те, що видобуток метану з однієї добувної ділянки складає 6500 м³/доб., то для забезпечення котельні метаном як паливом, розроблену технологію необхідно впровадити ($20448/6500=3,2$) на чотирьох ділянках шахти ім. Гайового.

ВИСНОВКИ

1 Дегазацію добувних ділянок за допомогою свердловин, пробурених з поверхні в комплексі з підземними свердловинами, пробуреними по пласту і в породах покриву, необхідно розглядати як метанодобувну.

2 Впровадження запропонованих способів забезпечить скорочення дефіциту природного газу в Україні близько трьох мільярдів кубічних метрів за рік, покращить параметри навколишнього середовища.

SUMMARY

In the article the analyses of the state and prospect of booty of gas of methane is pointed by coal mines of Donbass, and also suggestion of the use o complex method of degassing of coal layers by the mining holes, bored from surface and from the underground making on a layer and in the breeds of roof, that provides reduction of the troop landings in the atmosphere of gas of methane with the worked venting air, and use of gas of methane as a fuel.

The calculation of methane utilization on the mine is shown.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Борбишев В.В. Газоносные структуры шахтных полей: морфология, прогнозирование, попутное освоение: Сборник докладов Донбасского Центра. – Донецк, 1995.
2. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. - М.: Недра, 1977.
3. Булат А.Ф., Софийский К.К., Воробьев Е.А. и др. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты. - Днепропетровск: Полиграфист, 2003.
4. Саранчук В.И. и др. Физико-химические основы переработки горных ископаемых. - Донецк: ДонНТУ, 2001г – 300 с.

Надійшла до редакції 6 грудня 2005 р