

**ГЕОТЕХНОЛОГІЯ СПАЛЮВАННЯ ВУГІЛЬНИХ
БЛОКІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ШАХТ ДЛЯ
ОТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

**GEOTECHNOLOGY OF COAL BLOCKS BURNING
OF EXHAUSTED MINES FOR HEAT ENERGY USE**

© 2013 Брик Д.В., к.т.н.,
Гвоздевич О.В.,
Кульчицька-Жигайло Л.З.
(ІГГГК НАН України)

**Bryk D.V. PhD in Technical Sciences,
Gvozdevich O.V.,
Kulchits'ka-Zhygaylo L.Z.
(IGGGK NAS of Ukraine)**

Запропонований технологічний спосіб підземного спалювання з поверхні землі вугільних блоків відпрацьованих шахт та свердловинний теплогенератор для їхнього розпалювання. Наведено результати натурних експериментів роботи свердловинного теплогенератора при розпалі вугільного блоку, а також особливості протікання процесу спалювання вугільного блоку.

The technological method of underground combustion from surface for the coal blocks in exhausted mine and the borehole heat-generator for their inflaming are offered. Results of the borehole heat-generator tests in situ during inflaming of the coal block and special features of process of coal-blocks combustion are presented.

Ключові слова: енергетичне вугілля, підземне спалювання, розпалювання, теплогенератор, натурні експерименти.

Keywords: steam coal, underground combustion, ignition, heat-generators, full-scale tests.

Постановка задачі

Традиційна технологія видобутку вугілля шахтним способом стає на сьогодні все більш енерговитратною у зв'язку з необхідністю розробки глибоких пластів. В силу цього обсяг шахтного вуглевидобутку в Україні систематично зменшується. Так, за період 1975-2009 рр. він скоротився з 215,0 до 72,3 млн. т. Діючі технології видобування та використання енергетичного вугілля призводять до того, що лише 10 % його енергетичного потенціалу використовується корисно, а хімічний потенціал – взагалі дуже незначно. Тому постає питання пошуку нових технологій розробки вугільних родовищ. Одним з таких способів є технологія підземної газифікації вугільних пластів (ПГВ), яку, як відомо, вперше у світі запропонував Уільям Сіменс з Великобританії в 1868 році, а в 1888 році її підтримав російський вчений Д.І. Менделєєв. Ідея ПГВ – отримати шляхом неповного підземного спалювання вугілля, в першу чергу з некондиційних пластів, енергетичний або технологічний газ.

В Україні із загальних обсягів вугілля (117 млрд. т) понад 40 млрд. т є придатними для підземної газифікації [1].

Іншим способом використання енергії вугілля «in situ» з отриманням тепла та/або електроенергії є технологія «Углегаз», запропонована Московським гірничим інститутом (Бурчаков А.С., Васючков Ю.Ф., Ржевський В.В. та ін.) [2]. Технологія полягає у керованому і економічно-ефективному підземному спалюванні вугілля, а саме вугільних блоків відпрацьованих шахт, близько розташованих тонких і високозольних некондиційних пластів з метою отримання теплової або електричної енергії безпосередньо на місці розробки та проходить за реакцією $C + O_2 = CO_2$, з виділенням тепла у кількості 393,5 кДж/моль (32,75 МДж на кілограм вуглецю).

Отже, підземні вугільні блоки, які залишились після шахтного видобутку вугілля, а також розташовані поруч некондиційні вугільні пласти (тонкі, високо зольні, засолені, розташовані на значних глибинах, непридатних до шахтного видобутку, та ін.), доцільно розглядати як потенційне джерело отримання теплової / електричної енергії.

Процес спалювання вугільних блоків можна проводити як з гірничої виробітки [3] після завершення вуглевидобутку, так і з поверхні через пробурені свердловини [4].

Технологія розпалювання вугільного блоку

У випадку, коли ставиться задача розпалювання вугільного пласта безпосередньо з виробітки для його подальшого спалювання, в ній створюють спеціальні перемички, які регулюватимуть проходження повітряного струменю до джерела горіння. При цьому між перемичкою та пластом вздовж останнього розташовують легкозаймисті горючі матеріали (кокс, дрова), які щільно контактують з призначеним до розпалу вугіллям. Займання такої горючої закладки здійснюється дистанційно керованими пристроями без присутності людей у вибої.

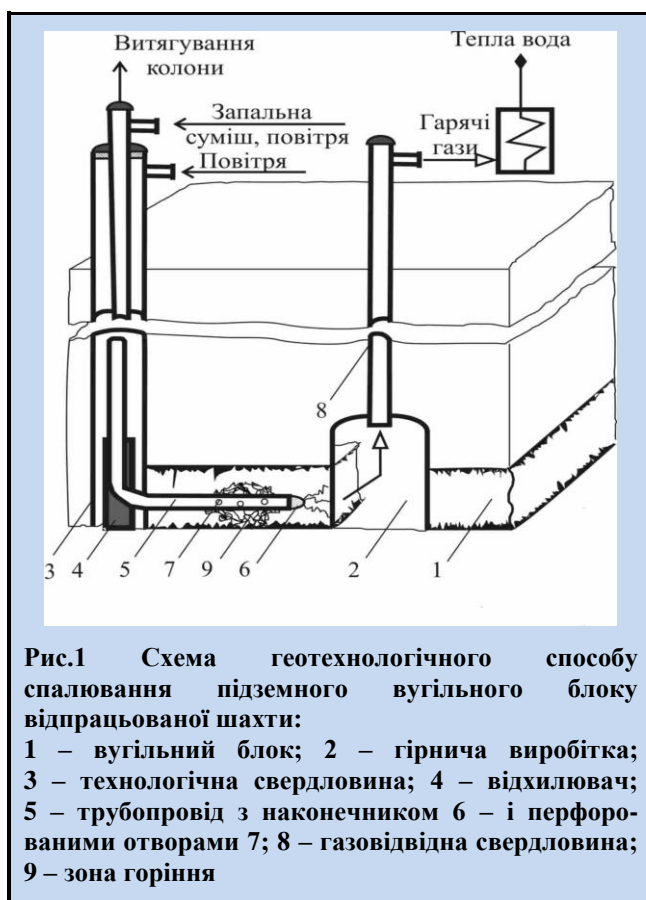
В іншому випадку розпалювання вугільного блоку може бути здійснено з поверхні через свердловини. Разом з тим, доцільність свердловинного розпалювання обґрунтовується також використанням свердловин як для інтенсифікації процесу горіння, так і для керування процесом подальшого спалювання пласта.

Свердловинний спосіб спалювання передбачає використання розробленого нами спеціального вибійного вогневого теплогенератора [5], який слугує для початкового розпалювання вугільного блоку, коли доступ до виробітки є неможливим.

На рис. 1 показана схема запропонованого нами геотехнологічного способу спалювання підземного вугільного блоку [4].

Спосіб реалізують наступним чином. На краю підземного вугільного блоку 1, по якому пройдена гірнична виробітка 2, на відстані, наприклад, 10 м від неї бурять у вугільний пласт з поверхні землі технологічну свердловину 3. На вибої свердловини 3 встановлюють відхилювач-спрямовувач 4, який слугує для просування гнучкого термостійкого трубопроводу 5 у напрямку виробітки 2. Нижній кінець гнучкого трубопроводу має наконечник 6 і перфоровані отвори 7 для радіального виходу повітря (окиснювача). Виробітку 2 сполучають з атмосферою через свердловину 8, яку під'єднують до всмоктуючого вентилятора (далі вентилятор – на рис. не показано).

Трубопровід 5 опускають в свердловину 3 і станком ударно-канатної дії просувають його через відхилювач 4 у вугільний блок 1. В цей же час у свердловину 3 нагнітають повітря, піднімаючи в ній тиск. Одночасно включають димотяг і відсмоктують ним димові гази з виробітки 2 через свердловину 8, що запобігає емісії газів в атмосферу.



При входженні трубопроводу 5 у вугільний блок 1 підвищений тиск у свердловині 3 сприяє розкриттю природних тріщин пласта і полегшує проникнення наконечника 6 в тріщинувату зону вугілля.

При наближенні гнучкого трубопроводу 5 до гірничої виробітки 2 повітря, яке з свердловини 3 проникає через щілини і тріщини в пласті у виробітку 2, відсмоктують з виробітки вентилятором на поверхню. Після достатнього проникнення повітря у вугільний блок 1 між рухомим трубопроводом 5 і виробіткою 2 тиск повітря в свердловині 3 стрибкоподібно падає до величини нижче атмосферного, що реєструється гирловим манометром. В цей час припиняють рух трубопроводу 5 по пласту і приступають до створення зони горіння 9 між свердловиною 3 і виробіткою 2. Розпал вугільного блоку проводять шляхом подачі у пласт пірофорних речовин, змішаних з вуглеводнями, з наступним нагнітанням повітря у зону розпалу. Утворення та розширення вогневого каналу розпалу здійснюють подачею повітря через трубопровід 5 та міжтрубний простір технологічної свердловини 3. При цьому вогневий канал формують як у напрямку гірничої виробітки 2 за рахунок тяги вентилятора, так і в напрямку вибою свердловини 3 при витягуванні трубопроводу 5 з блоку 1. На цій стадії подають в трубопровід 5 повітря, яке вводять в зону горіння 9 через перфоровані отвори 7. Після утворення вогневого каналу припиняють нагнітання повітря по трубопроводу 5, а трубопровід виймають із свердловини 3 на поверхню. Витягування трубопроводу 5 з вугільного блоку, тобто проходження його поза зоною горіння у вогневому каналі забезпечує надійний захист трубопроводу 5 від дії високих температур (800-1200 °С) і робить можливим його багаторазове використання. Наявність перфорованої ділянки, яка забезпечує радіальний вихід повітря з трубопроводу 5, також сприяє захисту трубопроводу 5 від перегріву.

Основні техніко-економічні переваги розробленого способу свердловинного розпалу полягають у створенні протяжних вогневих каналів у вугільному блоці та у підвищенні керованості процесом розпалу.

Пристрій для розпалу вугільного блоку

Одним із основних пристроїв при геотехнологічному способі спалювання підземних вугільних блоків є вибійний свердловинний вогневий теплогенератор [5], який може працювати на дизельному пальному, технічному гасі чи іншому рідкому паливі. Тобто, задача свердловинного розпалу підземного вугільного блоку вирішується шляхом використання вибійного свердловинного вогневого теплогенератора (СВТ) – пальника, який створює на вибої свердловини високотемпературний струмінь вогню. До свердловинного теплогенератора висуваються наступні вимоги:

- можливість спалювання великої кількості палива в малих габаритах свердловини при високих швидкостях руху паливно-повітряної суміші

- надійна і стабільна робота камери згоряння за умов широкого діапазону співвідношенні палива/повітря.

Конструкція СВТ, технологія його монтажу в свердловині, засоби контролю і регулювання процесу повинні бути простими, що потрібно як для спуску апарату в свердловину, так і для швидкого підняття його на поверхню з метою звільнення свердловини для наступної подачі повітря до зони розпалу на вибої. Свердловинний вогневий теплогенератор може застосовуватися у свердловинах різних діаметрів (від 100 мм), тому його працездатність має забезпечуватися незалежно від діаметра обсадної колони, а налаштування апарату на роботу в свердловині іншого діаметру повинно бути максимально спрощене.

На рис. 2 схематично показано СВТ [5], який складається з кожуха 1, камери розпалу 2 і багатосекційної камери згоряння 3, розташованої нижче камери розпалу і виконаної з лійкоподібних втулок, які входять з зазором одна в іншу. Нижче від камери згоряння розташований хвостовик 4 з вогнестійким насадком 5. У верхній частині багатосекційної камери встановлено конусне кільце 6 для посадки форкамери 7. Кільце складається з циліндричних втулок, які закінчуються перфорованим пальником 8. Всередині пальника співвісно встановлена центральна трубка 9, верхній кінець якої з'єднано з додатковим отвором 10 в стінці пальника 8, розташованим в паливній зоні 11 форкамери 7. Для інтенсивного перемішування рідкого палива з повітрям в щілині між циліндричними втулками форкамери 7 встановлено спіральний завихрювач 12, а між його витками просвердлено отвори 13, які забезпечують додаткове надходження повітря з повітряної магістралі. Для забезпечення умов розділення палива (тяжкі фракції – в центральну трубку 9, легкі фракції – всередину пальника через отвір-дозатор 14) отвір 10 розташований нижче отвору-дозатора 14. Для покращення умов спалювання тяжких фракцій палива всередині багатосекційної камери згоряння 3 нижній кінець перфорованого пальника 8 закінчується форсункою-розпилювачем 15.

Свердловинний вогневий теплогенератор працює наступним чином. Паливо (наприклад, сира нафта) в суміші з повітрям подається по колоні труб 16, а повітря – по повітряній магістралі 17. Суміш повітря з рідким паливом через отвір 19 попадає в щілину між циліндричними втулками форкамери 7, де встановлено завихрювач 12. В цю ж щілину з повітряної магістралі 17 через отвір 13 додатково вводиться повітря. Інтенсивне перемішування палива з повітрям, що поступає в щілину через отвір 13, забезпечує приготування паливно-повітряної суміші для утворення джерела горіння.

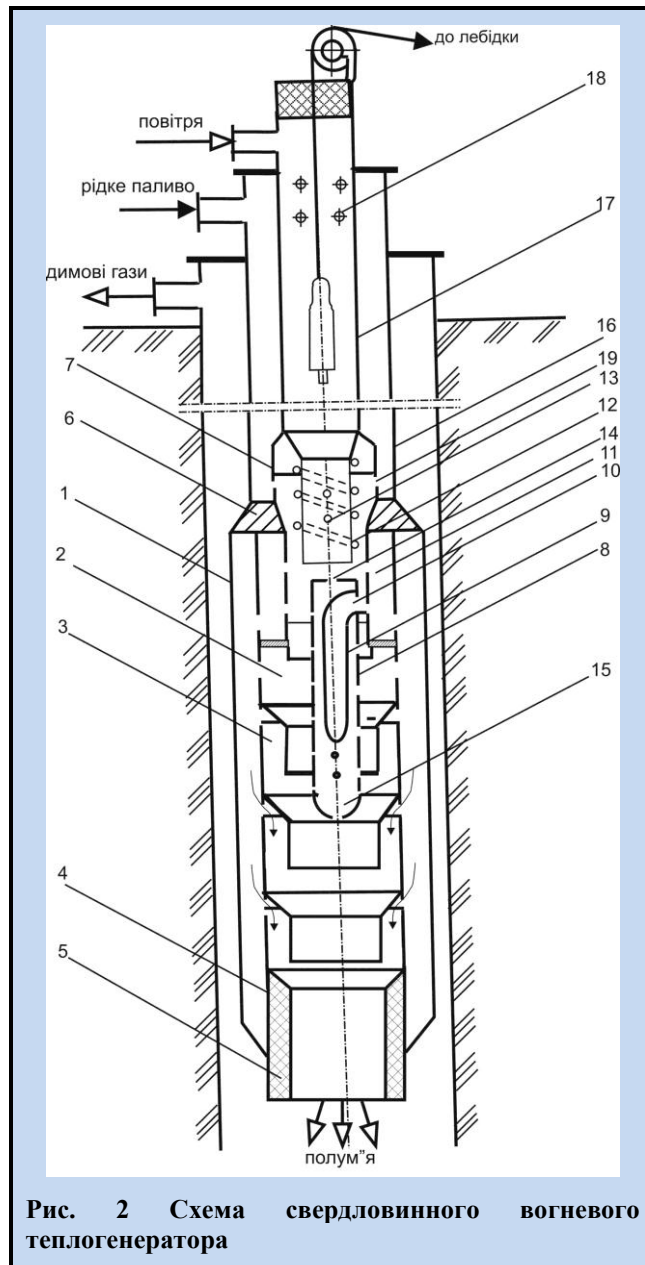


Рис. 2 Схема свердловинного вогнево теплогенератора

Описаний теплогенератор має довжину 1700 мм, діаметр кожуха – 60 мм, діаметр дискового розподільвача повітря – 93 мм, вагу – до 25 кг. Теплогенератор розрахований на спалювання до 10 $\text{дм}^3/\text{год}$ палива при витраті повітря до 300 $\text{м}^3/\text{год}$. Температура полум'я на виході коливається в межах 500-1000 $^{\circ}\text{C}$ і регулюється витратою повітря.

Таким чином, проведення процесу спалювання вугільного блоку через свердловини, пробурені з поверхні землі, вимагає створення каналів розпалу в пласті, потужного і стабільного джерела горіння на вибої розпалювальної свердловини і забезпечення відводу продуктів згорання через іншу газовідвідну свердловину.

Натурні експерименти

Випробування теплогенератора для розпалу вугільних блоків проводилося разом з Московським гірничим інститутом на дослідній ділянці «Углегаз», поле шахти «Владимирская», ВО «Тулауголь». Було пробурено дві групи свердловин за п'ятиточковою схемою, причому у центрі квадрата, утвореного чотирма газовідвідними свердловинами, була розташована свердловина розпалювання. Віддаль між двома суміжними газовідвідними свердловинами згідно схеми становила близько 30 м, на такій же відстані пробурені свердловини розпалювання. Конструкція свердловини розпалювання забезпечувала локалізацію впливу гідророзриву в заданій зоні вугільного пласта, тобто в його середній частині, при відкритому необсадженому вибої свердловини. Така задача вирішувалася при бурінні свердловин наступним чином. Свердловина була пробурена до середини висоти вугільного пласта, обсаджена насосно-компресорними трубами зовнішнім діаметром 114 мм (внутрішній діаметр 104 мм) і колона труб зацементована. Після цементування «заглушка», утворена всередині труб, була розбурена, і вугільний пласт нижче від торця обсадної колони був добурений на глибину 0,3-0,5 м.

Утворення каналів і тріщин для сполучення вибоїв технологічних свердловин в межах відкритого розрізу вугільного блоку проводилося методом гідророзриву. Для забезпечення надійності і підвищення ймовірності

«збійки» свердловин (з'єднання каналами і тріщинами по пласту) проводили гідророзрив з кожної свердловини розпалювання, фіксуючи при цьому процес «збійки» за витоком води на гирлі з інших відкритих свердловин. З метою запобігання змикання каналу гідророзриву після скидання тиску проводили закачування в пласт розпірного матеріалу (крупнозернистого піску). Після виявлення гідродинамічного зв'язку між свердловинами визначили кількість повітря, що приймала свердловина розпалювання. При цьому оптимальними умовами проведення розпалювання вважалась прийомистість свердловини на повітря з витратою 300 м³/год при тиску 0,6 МПа. Очевидно, що при меншій пропускній здатності каналів, утворених між свердловинами, теплова продуктивність теплогенератора була б меншою. Перед початком натурального експерименту біля свердловини розпалювання було встановлено повітряний компресор продуктивністю 300 м³/год і паливний насос – 12 дм³/год. На вибій газовідвідної свердловини спустили СВТ, термопару та почали розпалювання вугільного блоку. Процес горіння в СВТ контролювали за показами термопари, а момент розпалювання вугільного пласта визначали за температурою і складом димових газів з газовідвідної свердловини. Після утворення у вугільному блоці стійкої зони горіння тимчасово припинили нагнітати повітря, потім підняли СВТ на поверхню, гирло свердловини повторно загерметизували і відновили подачу технологічного повітря, необхідного для спалювання вугільного блоку.

Перший експеримент на ділянці «УГЛЕГАЗ» було проведено в свердловині № 8922 (штрекової), пробуреній з поверхні в покрівлю штреку на глибину 38,1 м. Свердловина, яка була обсаджена колоною труб зовнішнім діаметром 114 мм, внутрішнім – 104 мм, сполучалася через штрек з продуктивною газовідвідною свердловиною діаметром 525 мм. Теплогенератор на півдويمових трубах було спущено на глибину 34,6 м, причому зовнішній діаметр грушоподібного вихідного кінця СВТ становив 98 мм. Витрати повітря та палива становили відповідно 300 м³/год і 12 дм³/год. Температура димових газів на гирлі газовідвідної свердловини становила 100 °С. Теплогенератор надійно працював у свердловині 3 год 40 хв, протягом цього часу температура у форкамері змінювалась у межах 360-400 °С, а на виході зафіксовано температуру полум'я від теплогенератора близько 1000 °С.

Наступний експеримент було проведено у свердловині № 9159, пробуреної з поверхні у вугільний пласт на глибину 47 м на відстані 2,5 м від штреку. Діаметр обсадної колони становив 114 мм, колона була обсаджена на глибину 42 м. Вугільний пласт потужністю 3 м було розбурено діаметром 93 мм. Вибій свердловини обводнений, сполучення зі штреком відсутнє, підсмоктування повітря не встановлено. Перед спуском теплогенератора на вибій свердловини попередньо було зроблено осушення свердловини повітрям з використанням компресора. Теплогенератор було спущено на паливних трубах діаметром 0,5" на глибину 41,3 м (0,5 м вище від кінця обсадної колони). Зовнішній діаметр грушовидного кінця жарової труби СВТ складав 93 мм, внутрішній діаметр свердловини – 104 мм. Перед початком експерименту повітряним компресором було відтиснено воду від вибою свердловини. Результати експерименту показали, що СВТ пропрацював у свердловині № 9159 протягом 2 год 45 хв при витраті рідкого палива 12 дм³/год і подачі повітря 300 м³/год. Температура полум'я на виході з жарової труби перевищувала 1000 °С. Об'ємний склад газу з газовідвідної (продуктивної) свердловини становив, %: CO₂ – 12,3; CO – 2,4; H₂ – 0,5; CH₄ – 0,5; O₂ – 6,0; N₂ – 78,3, що свідчило про розпал і горіння вугільного блоку. Після підняття теплогенератора на поверхню було зафіксовано «збійку» (сполучення) свердловини № 9159 зі штреком, тобто з зоною депресії, яка створювалася у штреку димотягом. Це підтверджувалося також і підсмоктуванням повітря на гирлі свердловини, яке складало близько 0,2 м³/с.

Крім того, методом польової геотермічної зйомки (методика лабораторії геотермії ІГТГК НАН України) були проведені заміри геотемпературного поля в приповерхневому шарі ділянки розпалу та спалювання. Зміна температурного поля у приповерхневому шарі загалом дає змогу контролювати процес горіння, а також визначати напрям переміщення зони горіння в процесі підземного спалювання вугільних блоків.

Висновки

1. Натурні експерименти підтвердили працездатність вибійного теплогенератора на дослідній ділянці у свердловинах, пробурених до вугільного пласту.
2. Було показано можливість застосування свердловинного вогневого теплогенератора для вогневої «збійки» свердловин та розпалу вугільного пласта у геотехнологічних процесах його спалювання або для підземної газифікації.
3. Експериментальні дослідження, проведені на ділянці «Углегаз» ВО «Тулауголь», продемонстрували принципову можливість застосування свердловинного теплогенератора конструкції ІГТГК НАН України для роботи в свердловинах малого діаметру при розпалюванні підземних вугільних блоків.
4. Розроблені нами геотехнологічний спосіб та свердловинний пристрій розпалювання може бути використаний при підземному спалюванні вугільних блоків відпрацьованих шахт для отримання теплової та / або електричної енергії.

Бібліографічний список

1. *Фальштинський В.С. Новітня технологія розробки вугільних пластів на базі свердловинної газифікації / В.С.Фальштинський, Р.О.Дичковський, М.М.Табаченко // Уголь України. – 2010 – № 1. – С. 10-14.*
2. *Ржевский В.В. Варианты использования ресурсов энергии в недрах / В.В.Ржевский / Методические разработки по проблеме «Углегаз». Часть V. [под ред. В.В.Ржевского]. – М.: МГИ, 1985. – С. 75.*

3. А.с. 1508648 СССР, МКИ⁴ E21 C 43/00. Устройство для подземной газификации угольного пласта / **Ю.Ф.Васючков, С.В.Янко, О.В.Гвоздевич [и др.]**; опубл. 15.05.89. Изобретения. – 1989. – № 5. – С. 41.
4. А.с. 1572103 СССР, МКИ⁴ E 21 C 43/295. Способ розжига подземного угольного блока / **В.В. Ржевский, О.В.Гвоздевич, Д.В.Брык [и др.]**; опубл. 15.02. 90. Изобретения. – 1990. – № 2. – С. 39.
5. А.с. 1744243 СССР, МКИ⁴ E 21 C 43/00. Скважинный жидкостной нагреватель / **И.Р. Крицкий, Ю.В.Стефаник, Д.В.Брык [и др.]**; опубл.09.12. 92. Изобретения. – 1992. – № 24. – С. 23.

Рукопис надійшов до редакції 06.03.2012