

В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, К. Станьчик, Є. Свядровські, В.Г. Лозинський

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ШАХТНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Виходячи з аналізу гірничо-геологічних умов гірського масиву експериментальної ділянки однієї із шахт Польщі, розглянуто можливі технологічні схеми підземної газифікації вугілля. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш відповідає даним умовам розкриття пласта двома вертикальними свердловинами з їх обсадкою і механічною збійкою із підземних виробок. Для ефективного протікання процесу газифікації пропонується пульсуюче подавання дуттєвої суміші. Дана стаття створена на основі реалізації міжнародного науково-дослідного проекту: «HUGE: Воднево орієнтована підземна газифікація вугілля для Європи», що фінансується Європейським фондом «Вугілля та сталі».

Исходя из анализа горно-геологических условий массива экспериментального участка одной из шахт Польши, рассмотрены возможные технологические схемы подземной газификации угля. В результате проведенных исследований установлено, что данным условиям отвечает схема вскрытия пласта двумя вертикальными скважинами с обсадкой и механической сбійкой из подземных выработок. Для эффективного протекания процесса газификации предлагается производить пульсирующую подачу дутьевой смеси. Данная статья создана на основе реализации международного научно-исследовательского проекта: «HUGE: Водородно ориентированная подземная газификация угля для Европы», которая финансируется Европейским фондом «Угля и стали».

Making rockmass geological analysis of experimental mines in Poland, the possible technological schemes of underground coal gasification are considered. After conducted researches are set that the coal seam opening by two vertical boreholes and mechanical crosscut from the underground mine workings are most favorable. For effective conducting the process of gasification the pulsating blowing mixture is offered. The article is created on the basis of international research project realization: «HUGE: Hydrogen Oriented Underground Coal Gasification for Europe», which is financed by the European fund «Coal and Steel».

Гірничо-геологічні чинники при проведенні підземної газифікації вугілля (ПГВ) відіграють важливу роль і можуть мати як позитивний, так і негативний вплив на процес газифікації.

При проектуванні та експлуатації підземних газогенераторів слід враховувати наступні гірничо-геологічні фактори:

- обводненість пласта і вміщуючих порід, наявність статичних (динамічних) підземних вод у породновугільному масиві;
- тектонічну порушеність масиву;
- хімічний склад вугільного пласта і вміщуючих порід;
- механічні й термічні властивості гірського масиву;
- геомеханічні параметри порід покрівлі, підшови і пласта, їх зміна при вигазовуванні (крок обвалення, зони технологічної тріщинуватості, параметри опорного тиску);
- потужність вугільного пласта, порід покрівлі і підшови, структурну будову масиву;
- кут падіння пласта.

Прийнята до дослідження ділянка шахтного поля оконтурена гірничими виробками і має форму близьку до двох перпендикулярних прямокутників. Глибина залягання коївається у межах 15 м. На теренах ділянки четвертинні відкладення гірського масиву покривають безпосередньо вугільні відкладення верхнього карбону. Літологічна різниця покрівлі представлена пісками, суглинними і глинистими породами. Водоносний пласт порід представлений статичними водами і знаходиться безпосередньо під на-

носами на глибині близько 0,3 м. Наступний водоносний горизонт знаходиться у підшві вугільного пласта на глибині 20 – 40 м. Очікуваний середній водоприплив у зону газифікації складає $2,55 \text{ м}^3/\text{хв}$. Коефіцієнт фільтрації: пласта – $2,69 \cdot 10^5 \text{ м/хв}$; порід покрівлі – $6,79 \cdot 10^5 \text{ м/хв}$; порід підшови – $4,46 \cdot 10^5 \text{ м/хв}$.

Якісна характеристика вугільного пласта. Вугільний пласт складної будови, витриманий за потужністю з кутом падіння $0 - 5^\circ$. Загальна виймальна потужність складає 1,4 м. Потужність породного прошарку – 0,1 м. Вологість вугілля – 14,7%; зольність – 22,1%; вихід летючих речовин – 32,4%; теплота згорання – $21,6 \text{ МДж/м}^3$.

Експериментальна ділянка шахтної газифікації, викопіювання із плану гірничих робіт шахти, прийнятої до дослідження ділянки, наведена на рис. 1.

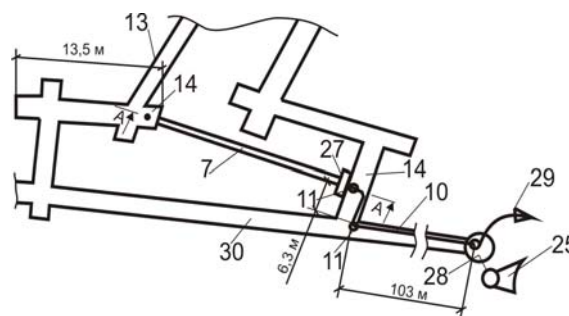


Рис. 1. Викопіювання з плану гірничих робіт шахти

Невелика глибина залягання вугільного цілика, його параметри і техногенні порушення породного масиву зумовлюють ряд чинників, які пов'язані із застосуванням в процесі вигазовування вугільного пласта комбінованих режимів, подачі дуття і примусового відведення отриманих продуктів ПГВ. Ці умови повинні враховуватися при розробці технологічних схем шахтного газогенератора і технологічних параметрів процесу газифікації.

На підставі результатів стендових досліджень, проведених з метою вивчення ступеня впливу конкретних гірничо-геологічних умов і технологічних параметрів на процес ПГВ, аналітичного обґрунтування матеріального і теплового балансу газифікації вугільного пласта, а також аеродинамічних і термодинамічних параметрів конструкцій, вибрано три технологічні схеми виконання експериментального шахтного газогенератора.

При відпрацюванні запасів в даних шахтних умовах можливе застосування як горизонтальних (рис. 2, 3) так і вертикальних розкриваючих (експлуатаційних) свердловин (рис. 4). Для підземної газифікації вугільного пласта (рис. 2, 3) пропонується комбінована схема з активною (пасивною) подачею дуття (1) і примусовим відведенням генераторних газів (8) з підземного газогенератора по газовідвідній свердловині (7) і газовідвідному трубопроводу (10), який прокладений по хіднику № 2 (14) і вентиляційному штреку (30), з відбором конденсату в бак (11) в нижніх рівнях траси газовідвідного трубопроводу (рис. 1). Примусовий рух генераторних газів по газовідвідному трубопроводу забезпечується за рахунок розрідження, створюваного димососом (25), який розташовується над шурфом (28) який прилягає до вентиляційного штреку. Для утилізації генераторного газу передбачається його спалювання на «свічці» (29) (рис. 1).

Розпалювання вугільного пласта при технологічних схемах (рис. 2, 3) здійснюється в розпалювальній ніші (4) шляхом підпалу дерев'яної кліти, заповненої вугіллям (5). Підведення відкритого полум'я в розпалювальну нішу здійснюється з дуттєвої камери (26), через дуттєвий трубопровід (2), герметизатор (3) за перемичкою дуттєвої камери (15). Подача дуття до місця розпалювання здійснюється шляхом всмоктування, яке забезпечується димососом.

У ході розвитку процесу газифікації подача компонентів дуття (O_2 , H_2O – пара; CO_2) здійснюється нагнітанням на вигазований простір (рис. 2) або на вугільний масив (рис. 3). Коефіцієнт протитиску $K_m = 1,18 - 1,5$ з урахуванням довжини вигазованого простору l_{en} і швидкості вигорання (посування очисного вибою) v_{oe} .

На рис. 2 представлена технологічна схема експериментального шахтного газогенератора (ЕШГ) з підведенням дуття на вигазований простір, на рис. 3 представлена технологічна схема експериментального шахтного газогенератора з підведенням дуття на вугільний масив.

Технологічна схема ЕШГ (рис. 2) складається з газовідвідної свердловини (7), пробуреної у вугільному пласті на відстані 0,28 – 0,3 м від безпосередньої підшви. Таке розташування свердловини забезпечує надій-

ність процесу газифікації, що пов'язано з потужністю зольного залишку (розрахункова потужність золи, з урахуванням зольності вугільного пласта складає 0,06 – 0,1 м) і вигазовуванням вугільного пласта по потужності знизу вгору. Ніша розпалювання (4), заповнена кліттю (дерев'яний брус) і кусковатим вугіллям (5). Ніша формується в межах потужності пласта: по падінню 1,5 м, по простяганню 1,8 м. Вона призначена для проведення розпалювання вугільного пласта з меншими енерговитратами і з забезпеченням автотермічності процесу підземної газифікації. Перемички споруджуються на сполученні ЕШГ з дуттєвою (15) і газовідвідною (16) камерами. Як будівельний матеріал пропонується фосфогіпс або бетон (за умови обштукатурювання 3-5 мм шаром глини з боку газогенератора). Ці перемички призначені для забезпечення герметичності ЕШГ і безпеки персоналу при його експлуатації.

Подача дуття в ході газифікації здійснюється під тиском з дуттєвої камери (27) через дуттєву свердловину (7) до вогневого вибою (22). Відведення газів забезпечується через вигазований простір способом створення в газовідвідній мережі зони розвантаження за допомогою димососа (25), що забезпечує в даних умовах баланс тиску, фізичних швидкостей і термохімічних реакцій в процесі газифікації. У міру вигазовування вугільного пласта елементами конструкції ЕШГ стають вигазований простір (21), розміри якого пов'язані з гірничо-геологічними умовами і технологічними параметрами процесу газифікації, вогневий вибій (24), формування і розміри, якого пов'язані з елементарним складом вугільного пласта, вміщуючих порід, складом дуття і параметрами його подачі, гірським тиском і термічною напругою.

На рис. 2, в, г представлені технологічні схеми з керованою точкою подачі дуття. Переміщення дуттєвого патрубка здійснюється услід за переміщенням вогневого вибою з боку вигазованого простору. Подача патрубка забезпечується з хідника (13) в газогенератор.

Технологічна схема експериментального шахтного газогенератора з підведенням дуття на вугільний масив, наведена на рис. 3, передбачає буріння і монтаж дуттєвої свердловини, виконаної з аналогічними геометричними параметрами, що й газовідвідна свердловина (6) в попередній технологічній схемі (рис. 2). Підведення відкритого полум'я в нішу розпалювання здійснюється із-за перемички (16), через розпалювальний патрубок (31). Подача дуття в нішу розпалювання забезпечується через розпалювальний патрубок. Відведення продуктів згорання здійснюється по газовідвідному трубопроводу. Подача дуття в ході газифікації здійснюється під тиском з дуттєвої камери (13) через дуттєву свердловину (6) до вогневого вибою. Відведення газів забезпечується через вигазований простір способом створення в газовідвідній мережі розрядки за допомогою димососа (25), що забезпечує в даних умовах баланс тиску, фізичних швидкостей і термохімічних реакцій в процесі газифікації.

Технологічна схема з керованою точкою подачі дуття (рис. 3, в) передбачає переміщення дуттєвого патрубка по дуттєвій свердловині (6) у міру вигорання вогневого вибою. Відбувається витягування патрубка з генератора в хідник (13).

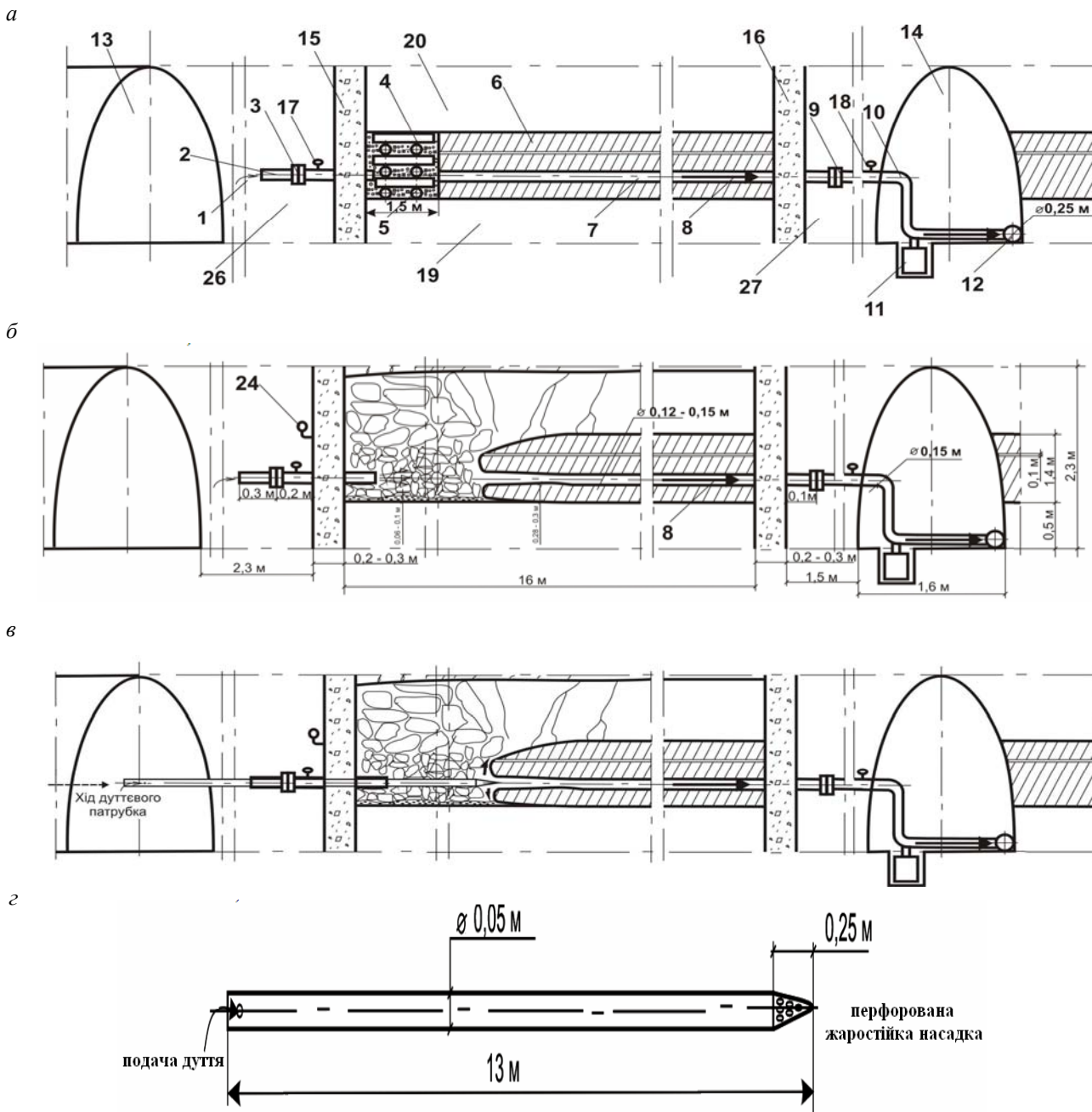


Рис. 2. Технологічна схема експериментального шахтного газогенератора з підведенням дуття на вигазований простір: а – до початку експлуатації; б – в період вигазовування вугільного пласта без керуванням точкою подачі дуття; в – в період вигазовування вугільного пласта з керуванням точкою подачі дуття; з – дуттєвий рухомий патрубков

Серед недоліків даних технологічних схем слід відзначити:

- подача дуття на вигазований простір пов’язана з догоранням залишку золи в розігрітих породах вигазованого простору, що призводить до втрат якісного і кількісного складу дуття;
- великі витрати енергії на подачу дуттєвої суміші, що пов’язані з подоланням опору вигазованого простору;
- складність керування режимами комбінації подачі дуття і відведення генераторних газів;
- достатньо важко забезпечити повну герметичність масиву поблизу дуттєвого патрубку при технологічній схемі з керованою точкою подачі дуття (рис. 2, в; рис. 3, в).

Підготовка і експлуатація підземного газогенератора з вертикальними розкриваючими (експлуатаційними) свердловинами (рис. 4).

Враховуючи неглибоке полого залягання і достатню проникність вугільного пласта при підготовці газогенератора пропонується розкрити пласт двома вертикальними свердловинами (дуттєвою (1) і газовідвідною (2) на відстані 14,5 м одна від одної. До вугільного пласта свердловина обладнується обсадною трубою з цементуванням затрубного простору. Частина свердловини у вугільному пласті, добурена до підшови, не потребує додаткового закріплення.

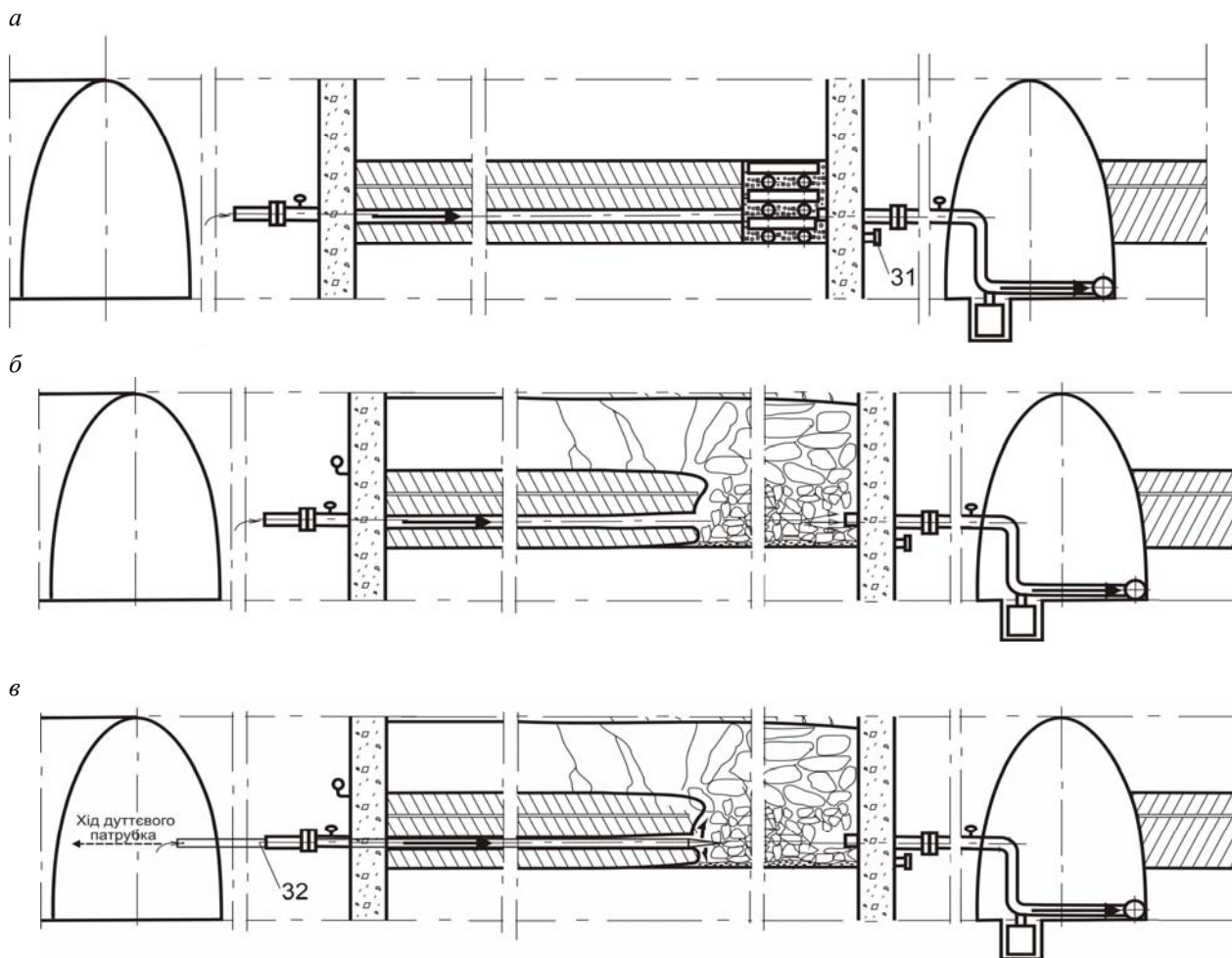


Рис. 3. Технологічна схема експериментального шахтного газогенератора з підведенням дуття на вугільний масив: а – до початку експлуатації; б – в період вигазовування пласта без керуванням точкою подачі дуття; в – в період вигазовування пласта з керуванням точкою подачі дуття.

Умовні позначення до рис. 1, 2 і 3:

1 – подача дуттєвої суміші; 2 – дуттєвий трубопровід; 3 – герметизатор дуттєвий; 4 – ніша розпалювання; 5 – кліть (брус, колоди), заповнена рядовим або фракційним вугіллям; 6 – вугільний пласт; газовідвідна свердловина; 7 – генераторні гази; 9 – герметизатор газовідвідний; 10 – газовідвідний трубопровід; 11 – бак для збору конденсату; 12 – напрям газовідвідного газотрубопроводу; 13 – хідник № 1; 14 – хідник № 2; 15 – перемичка дуттєвої камери; 16 – перемичка газовідвідної камери; 17 – витратомір дуття; 18 – витратомір генераторних газів; 19 – безпосередня підшоша вугільного пласта; 20 – безпосередня покрівля вугільного пласта; 21 – вигазований простір; 22 – вогневий вибій (реакційний канал); 23 – золоталишок; 24 – манометр; 25 – димосос; 26 – дуттєва камера; 27 – камера газовідводу; 28 – шурф; 29 – «свічка» спалювання газу; 30 – вентиляційний штрек; 31 – патрубок розпалювання; 32 – дуттєвий рухомий патрубок

Формування реакційного каналу (4) довжиною 16 м між свердловинами, що розкривають пласт, здійснюється направленим бурінням горизонтальної свердловини з виробок шахти (хідник № 1, 12). Шахтні виробки відділяються від газогенератора герметичними перемичками (6).

Розпалювання вугільного пласта здійснюється двома способами.

1. Перший спосіб передбачає формування з розпалювальної камери (18) розпалювальну нішу (15), де викладається з дерев'яних брусів (колод) кліть і засипається кусковатим вугіллям. Розпалювальна ніша від розпалювальної камери відділяється герметичною перемичкою, в якій вмонтований розпалювальний патрубок із затвором (19). Через цей патрубок подається

відкрите полум'я в нішу до кліть і вугілля. Збагачене дуття подається до вогнища спалаху по вертикальній свердловині (1). Це забезпечує прогрівання і спалах вугільного пласта по всій потужності і зумовлює спрямованість процесу газифікації до автотермічності. Видача продуктів горіння вугільного пласта здійснюється через свердловину (2).

2. Другий спосіб передбачає закидання розжареного вугілля у свердловину (1), з одночасною подачею збагаченого дуття через спеціальний пристрій, що приводить до формування вогнища спалаху на сполученні камери з реакційним каналом. Продукти горіння виводяться по реакційному каналу і свердловині (2) на свічку згорання (9).

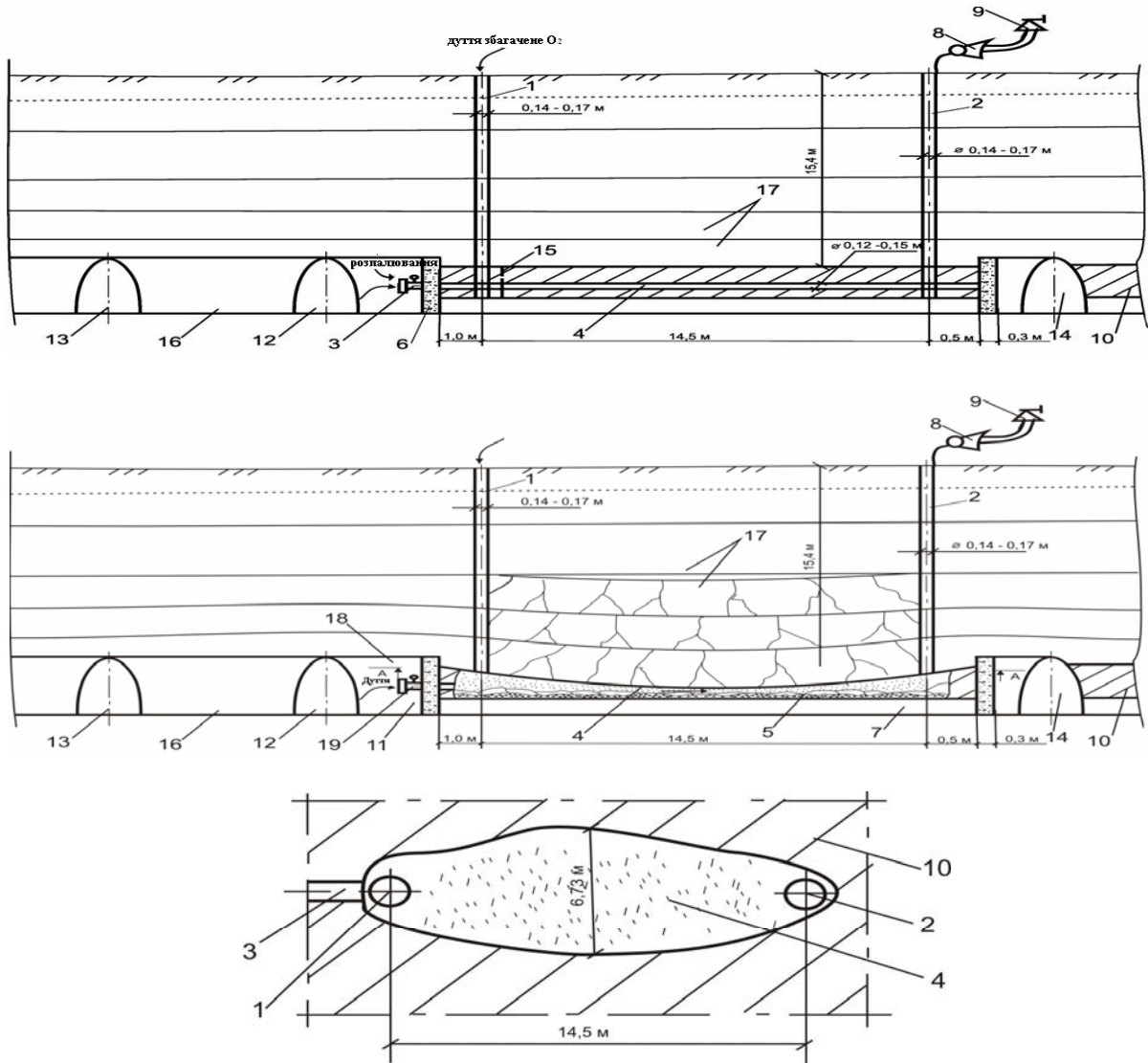


Рис. 4. Технологічна схема підземного газогенератора з вертикальними розкриваючими свердловинами

В процесі вигазування вугільного пласта відбувається збільшення реакційного каналу (вигазованого простору) у формі близькій до еліпса (рис. 4, перетин А-А) площею після завершення процесу 97,6 м² або 181 т вигазованного вугілля (420,6 тис. м³ генераторного газу). Відведення генераторних газів здійснюється по свердловині (2) за допомогою димососа (8) з подальшим його спалюванням.

Переваги технологічної схеми:

- простота конструкції ЕШГ;
- невелика сумарна аеродинамічна система виробок газогенератора, що покращує процес керування при вигазуванні вугілля;
- технологічність і надійність розпалювання пласта;
- можливість варіювання напрямом подачі дуття.

Недоліки технологічної схеми:

- складність керування свердловинами в робочому стані в піскувато-глинистих породах;
- додатковий притік підземних вод в газогенератор за рахунок дренажу по свердловинах;
- значні фінансові витрати на буріння й устаткування свердловин.

Висновки

Запропоновані технологічні схеми підземних газогенераторів прості у виконанні й експлуатації, виконані з урахуванням гірничо-геологічних умов експериментальної ділянки шахти і технологічних параметрів процесу ПГВ.

При виборі технологічних схем ЕШГ, наведених на рис. 2 і 3, відбуватиметься істотне нагрівання газів відповідного трубопроводу, що вимагає його відповідного виконання й термоізоляції.

Експлуатаційні роботи необхідно проводити з дотриманням технологічного режиму ведення процесу газифікації, правил техніки безпеки при узгодженні із службою ВГСЧ.

Спрямована подача дуття забезпечить задані просторові характеристики вогневого вибою (площу реакції, швидкість і рівномірність вигазування вугілля), а також роздільну подачу компонентів дуття і баланс фізичних швидкостей і хімічних реакцій.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бузилом 10.02.10