

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОРОЖНИН РОЗШАРУВАННЯ НАД ПІДЗЕМНИМ ГАЗОГЕНЕРАТОРОМ

В статті представлено результати дослідження формування порожнини розшарування при підземній газифікації буровугільного пласта. На основі проведених досліджень розроблений спосіб підготовки підземного газогенератора з урахуванням параметрів формування вигазованного простору і порожнин розшарування порід покрівлі.

В статті представлено результати дослідження формування порожнини розшарування при підземній газифікації буровугільного пласта. На основі проведених досліджень розроблений спосіб підготовки підземного газогенератора з урахуванням параметрів формування вигазованного простору і порожнин розшарування порід покрівлі.

The results of investigation the cavity forming at underground brown coal gasification are presented. On the basis of the conducted researches the method of underground gasifier preparation is developed taking into account the parameters of goaf forming and cavities in rocks of roof.

**Вступ.** Обвалення порід в підземному газогенераторі відбувається під дією двох чинників. Первинним чинником є гірський тиск, що має місце в період будівництва і експлуатації підземного газогенератора. Другий чинник – це висока температура процесу газифікації вугільного пласта, що має місце в період експлуатації газогенератора. Ці два чинники приводять до руйнування порід покрівлі і підшви вигазованого пласта. Опір обпеченої безпосередньої покрівлі вигину, після першого обвалення, рівний нулю. Цей факт говорить про те, що під впливом гірського тиску породи покрівлі, ще до спікання, втрачають суцільність.

**Мета статі.** Дослідити параметри формування порожнин розшарування в породах покрівлі над вигазованим простором підземного газогенератора при газифікації буровугільного пласта.

**Основна частина.** Для визначення параметрів порожнин розшарування порідної товщі над підземним газогенератором прийняті гірничо-геологічні умови буровугільного пласта мазкі БЗ, родовища Legnica Polnoc (Польща): глибина залягання – 102 м, потужність пласта – 4 м, вологість – 25–27 %, фільтраційна здатність 0,26–0,31 Дарсі, очікуваний сумарний приплив води у вигазований простір підземного газогенератора 4,3–8,5 м<sup>3</sup>/г.

Покрівля пласта представлена брекчією, лесами, глинами та прошаруванням бурого вугілля. Газопроникність надвугільної товщі складає 0,11–0,24 Дарсі. Підшва пласта представлена пісками які складають 11,2–16,4 % всієї порідної товщі та глини і прошарувань бурого вугілля із загальною фільтраційною здатністю 0,18–0,27 Дарсі.

При свердловинній підземній газифікації буровугільного пласта, мазкі БЗ потужністю 4 м, породи безпосередньої покрівлі у вогневому вибої підземного газогенератора піддаються впливу високих температур. Величина температури газифікації буровугільного пласта змінюється по довжині реакційного каналу.

Максимум температур (1050–1200 °С) спостерігається на межі переходу окислювальної зони у відновлювальну (рис. 1).

Породи нижнього шару покрівлі, по довжині вогневого каналу, схильні до різної термопружної напруги. Така ж ситуація спостерігається і у вигазованному просторі.

При визначенні напружено-деформованого стану порід покрівлі підземного газогенератора слід враховувати потужність шару золи  $m_3$ , що залишився у вигазованному просторі після газифікація. Таким чином висота зони обвалення при газифікації вугільного пласта може бути визначена з виразу:

$$h_{об} = \frac{m - h_0 - m_3}{(K_p + K_c) - 1} \text{ м};$$

де  $m$  – виймальна потужність пласта, м;  $m_3$  – потужність шару золи, м;  $h_0$  – межа вільного опускання покрівлі, м;  $K_c$  – середній коефіцієнт спучення порід;  $K_p$  – коефіцієнт розпушування порід.

Коефіцієнт розпушування порід покрівлі при вигазовуванні буровугільного пласта залежить від потужності вугільного пласта і структури порід, від потужності шару золи а також наявності в покрівлі і підшві пласта порід схильних до спучення при високих температурах. Хімічний склад порід вміщуючих порід наступний:  $\text{SiO}_2$  – 75,8 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  – 0,29 %; С – 0,88 %. Враховуючи коефіцієнти спучення  $K_B$  і розпушення  $K_p$  порід підшви і покрівлі вугільного пласта,  $K_B=1,32-1,54 > K_p=1,12-1,15$ , можна оцінити ступінь заповнення вигазованного простору.

Вигозовування буровугільного пласта відбувається по потужності з випередженням верхньої частини пласта по відношенню до нижньої, що створює умови впорядкованого обвалення порід, зважаючи на поступовий розвиток деформацій які збільшуються у міру газифікації вугільного пласта. Деформації порід при підземній газифікації неістотно відрізняються від традиційного способу видобування і характеризуються відсутністю нижньої зони упорядкованого обвалення порід покрівлі.

Горизонтальні переміщення шаруватого масиву залежать від потужностей шарів порід і шару золи, що підтверджується інструментальними спостереженнями в шахтних умовах а також при експлуатації та розкритті підземних газогенераторів і коливається в межах 0,05–0,3м. Такі зсуви породних шарів можуть викликати труднощі при експлуатації свердловин підземного газогенератора, оскільки свердловини при горизонтальних зміщеннях породних шарів можуть бути зрізані і виведені з ладу.

У роботах, присвячених пружним властивостям гірських порід, при впливі високих температур в ході лабораторних і стендових досліджень встановлена зміна щільності гірських порід під впливом високотемпературного прогрівання. В результаті досліджень відмічено збільшення об'єму порід на 1–5 % від первинного, при цьому модуль пружності змінюється на 5–18 %. Внаслідок термодинамічних навантажень, з підвищенням температур, модуль деформації ( $E$ ) змінюватиметься по лінійному закону (Рис. 1).

У подальших розрахунках напружено-деформованого стану нижньої порідної пачки безпосередньої покрівлі слід враховувати зміни модуля пружності.

Коефіцієнт пружності змінюватиметься з урахуванням поправки коефіцієнта температурної дії  $K_T=1,05-1,4$ .

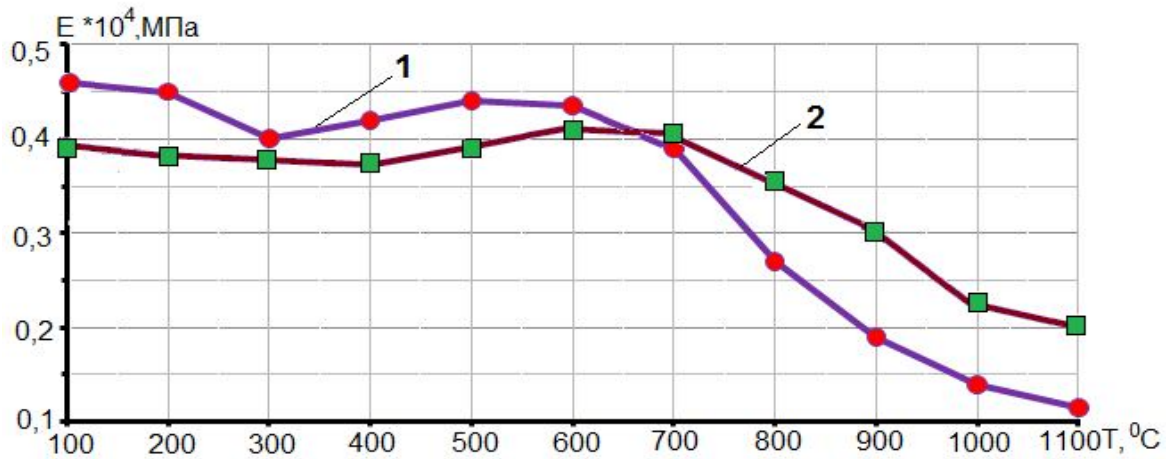


Рис. 1. Зміна модуля деформації (E) шару порід (0,3-0,45 м від вогневого вибою) залежно від ступеню прогріву нижнього шару безпосередньої покрівлі і підшви буровугільного пласта, 1 – глина, 2 – леси

Причинами руйнування порідного шару є нормальні навантаження, сили тертя, що вигинають момент і напругу від поперечних сил. Напруга від моменту (G), сил тертя ( $t_{тр}$ ) і дотичні від поперечних сил ( $\phi_{зр}$ ) знаходяться з виразів:

$$G_{сж} = \frac{12 \cdot E_0 \cdot M_x}{E_n \cdot K_T h^3} \cdot m_H \cdot y; (0 < y < m_H \cdot h);$$

$$G_p = \frac{12 \cdot E_0 \cdot M_x}{E_n \cdot K_T h^3} \cdot (1 - m_H) \cdot y; (0 < y < (1 - m_H) \cdot h);$$

$$S = \frac{(S_2 - S_n) \cdot (a + d_0 - x)}{a + d_0} + S_n, \text{ при } a \leq x \leq (a + d_0),$$

$$S = \frac{S_2 \cdot x}{a}, \quad 0 \leq x \leq a, \quad t_{mp} = \frac{\Delta x \cdot S}{a + d_0}, \quad \tau_{узг} = \frac{a \cdot x}{K_T \cdot h}.$$

Сумарна напруга (G) визначається з урахуванням напруги викликаних розпором. Напруга із знаком (-) стискає, а із знаком (+) розтягує.

$$G_y = S + (\Delta G_{сж} \cdot G_p); \quad G_x = \Delta S + (G_{сж} \cdot G);$$

$$\tau_{xy} = t_{mp}$$

Стан порід шару визначається по головній нарузі ( $G_1 G_2$ ) і по критерію опору порід одноосному стисненню (SPR)

$$G_1 \cdot G_2 = \frac{G_x + G_y}{2} \pm \sqrt{(G_x + G_y)^2 - 4\tau_{xy}^2};$$

$$\tau_{max} = \frac{G_1 - G_2}{2}$$

$$SPR = \frac{1}{2x} \sqrt{[1 - \psi] \cdot (G_1 - G_2)]^2 + \psi \cdot (G_1 - G_2)^2 - (1 - \psi) \cdot (G_1 - G_2)}.$$

Умови руйнування порід покрівлі перевіряються:  $SPR > R_{зж}$  і  $\tau_{max} > R_{зж}$ .

Поперечні сили над серединою підземного газогенератора відсутні, нормальні навантаження незначні, а стан порід масиву залежить від моменту, що викликає напругу по нашаруванню ( $\lambda G_{зж}$ ,  $\lambda G_p$ ) і перпендикулярно йому ( $G_{зж}$ ,  $G_p$ ). За рахунок власної ваги і вигинаючого моменту, в порідному шарі виникає напруга на відрив перпендикулярно нашаруванню.

Згідно прийнятої фізичної моделі і розрахунковій схемі, визначаються напруги в різних перетинах породного шару, поперечні сили  $Q_x$  і вигинаючий момент  $M_x$ , з виразів:

$$Q_x = B_{1k} \cdot \sin \frac{\pi}{L} x + B_{1k} \cdot \sin \frac{2\pi}{L} x;$$

$$M_x = 0,16 \cdot L \cdot [B_{1k} \cdot (\cos \frac{\pi}{L} x + \sin \frac{\pi}{L} x - 1) + \frac{B_{2k}}{2} \cdot (\cos \frac{2\pi}{L} x + \sin \frac{2\pi}{L} x - 1)].$$

Утворення вертикальних тріщин визначається по деформаціях порід через горизонтальні переміщення  $N_x$  розраховані для двох суміжних перетинів з виразів:

$$N_x = 1,2 \cdot \frac{L^2}{K_T h_{cl} \cdot f(k)} \cdot \left( B_{1k} \cdot \sin \frac{\pi}{L} x + \frac{B_{2k}}{4} \cdot \sin \frac{2\pi}{L} x \right); \quad \xi = \frac{(N_2 - N_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot 1000.$$

Опускання породного шару  $Y_x$  визначаються з виразу:

$$Y_x = 0,4 \cdot \frac{L^3}{K_T h_{cl}^3 \cdot F(k)} \cdot [B_{1k} \cdot (\cos \frac{\pi}{L} x - 1) + \frac{B_{2k}}{8} \cdot (\cos \frac{2\pi}{L} x - 1)].$$

Натурними вимірюваннями зсувів встановлено, що при деформації  $e > 5$  мм/м спостерігається утворення вертикальних тріщин в масиві.

Основними видами порушення суцільності порід, що обумовлюють поведінку масиву, є розшарування по ослаблених контактах за рахунок відриву під дією власної ваги або вигинаючого моменту над серединою газогенератора. Міцність порід на відрив по нормалі до нашарування залежить від глибини розробки, наявності в породах на порожнинах нашарування ослаблених контактів і прошарувань визначається коефіцієнтом DR

$$DR = (B - \Gamma \cdot H \cdot 10^{-6})$$

де  $B$  і  $\Gamma$  – коефіцієнти, що залежать від літологічної різниці порід, МПа.

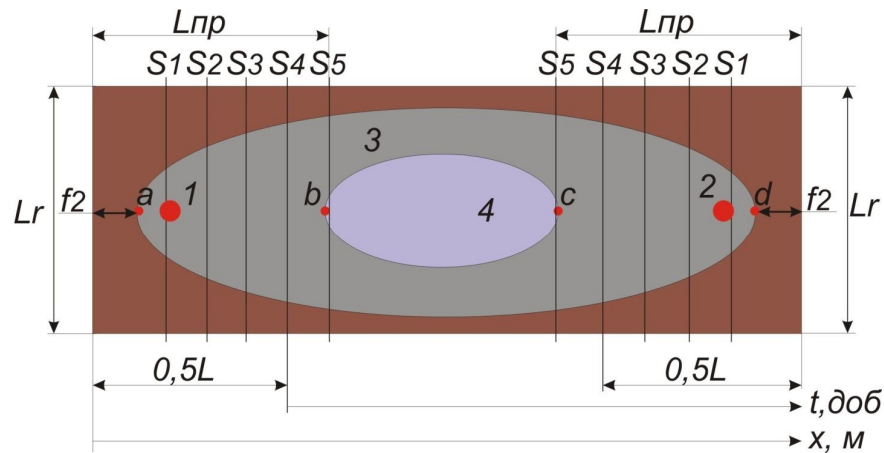
Знаючи характер розподілу навантажень на шари, визначаємо просторові зсуви порідної товщі у міру вигазування буровугільного пласта. У міру віддалення в сторону вигазованного простору від вогневого вибою порожнина вигазування буде змикатиметься. В результаті утворюються дві порожнини, що примикають до вигазованного простору і до масиву (рис.2).

Ширина порожнин  $u'$  визначається з виразу:

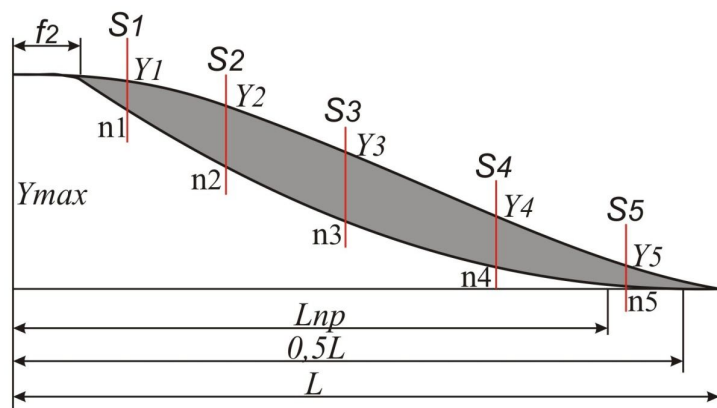
$$u' = L - f_2,$$

де  $L$  – граничний напівпрогін порід безпосередньої покрівлі, м;  $f_2$  – ширина опорної зони на рівні безпосередньої покрівлі, м.

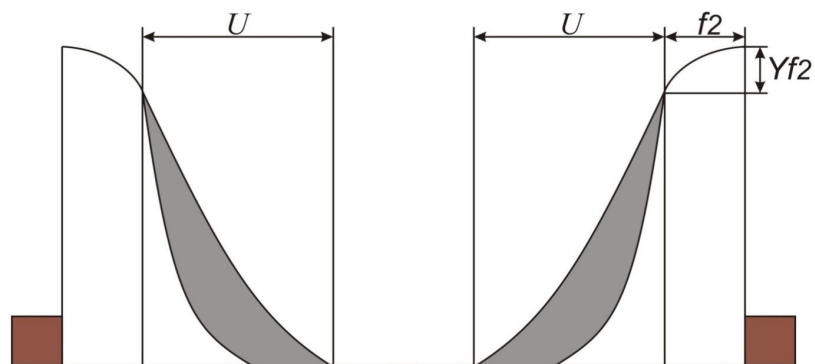
Визначаємо площу порожнини вигазовування виходячи з даних перетинів S1-S5, при  $l \leq y_{max}$ :  $S_n = n_b \cdot u_n \cdot \frac{1}{2}$



a)



б)



в)

Рис. 2. Утворення двох порожнин вигазовування при зімкненні порожнини над серединою вигазованного простору: а) – умови формування порожнини вигазовування над газогенератором в динаміці (перетинах S<sub>1</sub>-S<sub>5</sub>); б) – закрыта порожнина з параметрами зони затискання і розмірів порожнини в перетинах S<sub>1</sub>-S<sub>5</sub>; в) – формування двох порожнин при закритті порожнини в перетині S<sub>5</sub>, 1 – дугтева свердловина, 2 – газівідвідна свердловина, 3 – порожнина вигазованного простору, 4 – закриваюча порожнина вигазованного простору газогенератора

На рис. 3 показані параметри формування відкритої (а) і закритої (б) порожнин вигазовування.

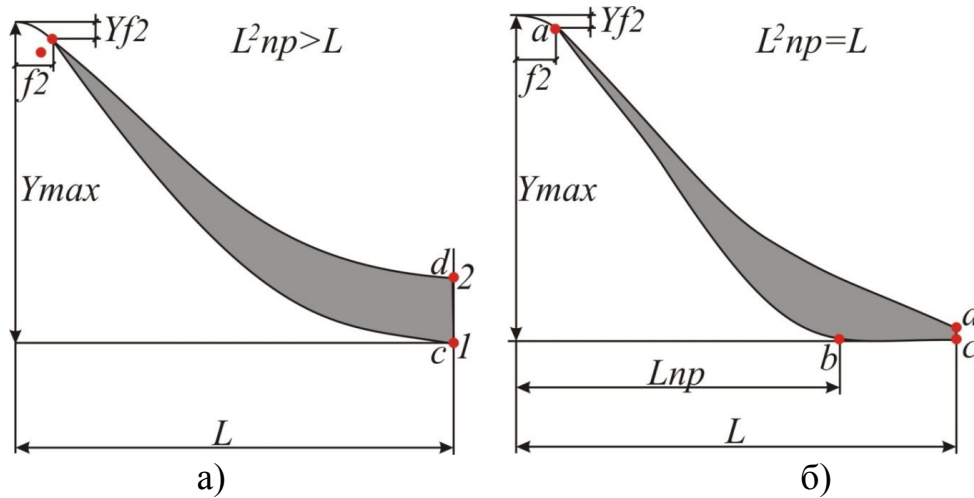


Рис. 3. Формування порожнин розшарування при газифікації вугільного пласта

Площі порожнин визначаються з виразів:

$$\text{варіант а: } S_r = (L - d_2) \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \frac{1}{2},$$

$$\text{варіант б: } S_{ADC} = (L - f_2) \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \frac{1}{2}, S_{ABC} = \frac{1}{2} (\gamma_{max} - \gamma^{f_2}) \cdot (L - l_{np});$$

де;  $S_{ADC}$  – площа порожнини, що закривається, по трикутнику ADC,  $m^2$ ;  $S_{ABC}$  – площа закритої порожнини по трикутнику ABC,  $m^2$   $L$  – повна довжина напівпрогину даного шару (2-го верхнього шару), м;  $f_2$  – ширина опорної зони на рівні підшви, м;  $d_2$  – відстань від кінця опорної зони до точки формування порожнини, м;  $y_2^f$  – опускання шарів до точки розшарування, м;  $S_r$  – площа відкритої порожнини,  $m^2$ ;  $l_{np}$  – граничний напівпрогін основної покрівлі, м;  $y_1$  і  $y_2$  – опускання породних шарів від початку координат, мм.

Об'єм порожнини після вигазовування пласта визначається з параметрів, представлених на рис. 4.

Виходячи з побудованої графічної схеми, знаходимо об'єм порожнини вигазовування сформованою з трьох геометричних фігур:

$$V = \int_a^b S(x)dx + 2S_1(x)bc + \int_c^d S_2(x)dx.$$

Різниця між максимальними опусканнями шарів порід визначає максимальну висоту порожнин вигазовування пласта:

$$W^l = y_1(x) - y_2(x).$$

Для встановлення закономірностей формування порожнин розшарування і поведінки основної і безпосередньої покрівлі при вигазовуванні буровугільного пласта в умовах родовища Legnica Polnoc був вибраний найбільш характерний стратиграфічний розріз.

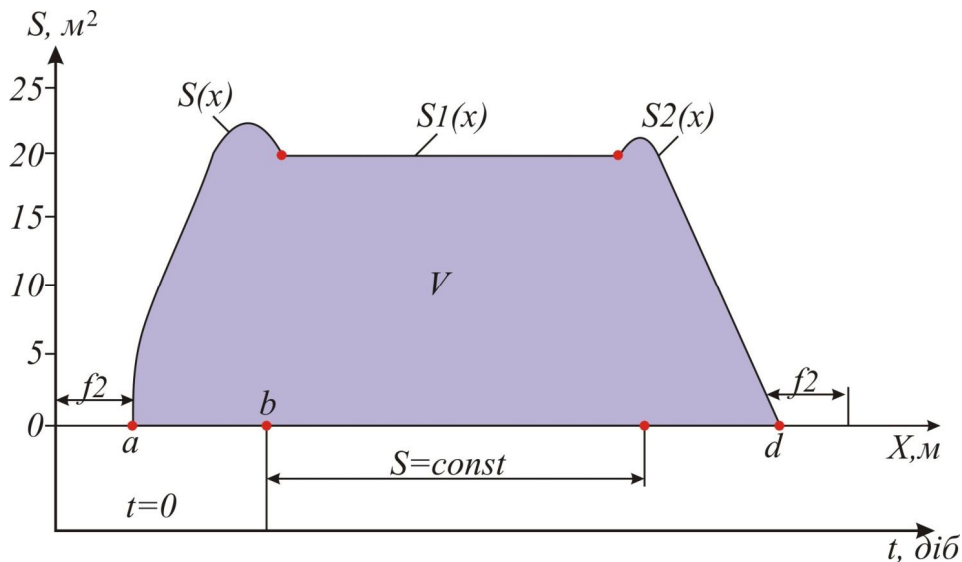


Рис. 4. Графічна схема до визначення об'єму порожнин після вигазування пласта в підземному газогенераторі

Спосіб підготовки підземного газогенератора з урахуванням формування вигазованного простору і порожнин розшарування порід покрівлі, представлений на рис. 5.

Згідно з результатами розрахунку на відстані 5 і 11 м в надвугільній товщі по нормалі від пласта, формуються порожнини розшарування (табл. 1), з відставанням від вогневого вибою на 1,4–1,95 м.

Форма порожнин підковоподібна, вони посуваються услід за вогневим вибоєм, при цьому ширина порожнин змінюється в межах 13,5–8,4 м. У вигазованому просторі на відстані 18–23 м від вогневого вибою нормальні навантаження близькі до сил гравітації. Основна покрівля буровугільного пласта представлена лесами і глинами потужністю 5,8–7,4 м, міцністю  $f=1-1,2$ . Модуль деформації порід основної покрівлі в масиві,  $E_0=1,16 \cdot 10^4$  МПа, над вигазованим простором  $E_{\text{п}}=0,49 \cdot 10^4$  МПа, повний напівпрогін підземного газогенератора  $L = 24,1-22,6$  м.

Аналізуючи результати математичного моделювання напружено-деформованого стану порід основної покрівлі, можна констатувати, що опускання над вогневим вибоєм при заданих технологічних параметрах складають 412,1; 453,5; 497,8 мм, максимальні опускання в перетині 22,6 м 3475,4 мм. Горизонтальні переміщення в даному породному шарі над вогневим вибоєм 182,6 мм, максимальні на відстані 5,2 м від вогневого вибою – 318,9 мм. Горизонтальні деформації в породах основної покрівлі складають 6,5–8,2 мм/м, що приводить до утворення вертикальної тріщинуватості з інтенсивністю 6–13 тріщин на 1п.м. При опорі порід на стиснення 10 МПа на сколювання 3,4 МПа і на відрив 0,1 МПа, спостерігатиметься обвалення порідного шару.

Породний шар, що залягає безпосередньо над пластом бурого вугілля, представлений глинами і сланцем міцністю  $f=1-1,3$ , потужністю 2,7–3,2 м, який при опусканні розшаровується на дві порідні пачки 2,0–1,3 м. Математична модель напружено-деформованого стану порід безпосередньої покрівлі

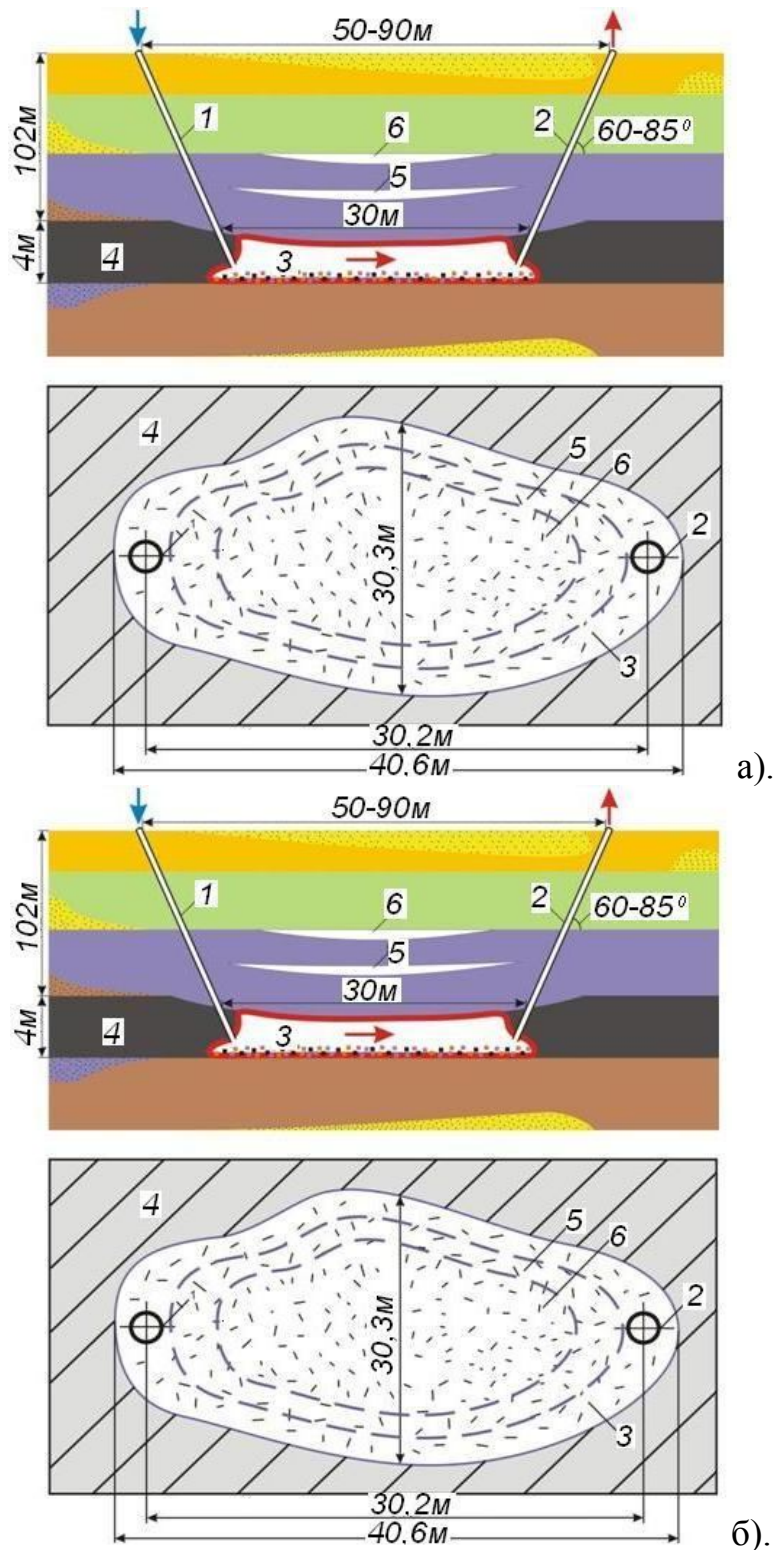


Рис. 5. а) Спосіб підготовки підземного газогенератора: 1 – дуттєва похила свердловина, 2 – газовідвідна похила свердловина, 3 – реакційний канал, 4 – буровугільний пласт, 5 – брекчія, 6 – бітумна глина, 7 – глина, 8 – пісок. б) – формування вигазованого простору і порожнин розшарування в породах безпосередньої і основної покрівлі при газифікації буровугільного пласта: 1, 2 – дуттєва і газовідвідна похилі свердловини, 3 – вигазований простір, 5, 6 – порожнини розшарування.



враховує механічні властивості порід і технологічні параметри газифікації вугільного пласта. Результати розрахунку напружено-деформованого стану нижньої пачки породного шару безпосередньої покрівлі при вигазовуванні буровугільного пласта, приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фізичні параметри епюр навантаження, опускання і напруги при вигині нижньої пачки породного шару безпосередньої покрівлі

Фізичні параметри, МПа			Опускання нижньої пачки порід покрівлі, мм			Напруження, МПа			Довжина вибою	Посування вибою
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	над вибоєм	2,0 м	22,6 м	G <sub>сж</sub>	G <sub>р</sub>	Φ <sub>max</sub>	L, м	V, м/дою
5,8	2,6	0,35	497,8	1091	3475,4	17,4	3,51	0,72	30	1,1
6,4	3,1	0,62	453,5	1044	3342,6	19,5	5,42	1,03	30	1,6
7,3	4,6	0,98	412,1	998	3230,7	21,8	6,83	1,16	30	2

Породи покрівлі і підшви, що безпосередньо прилягають до вогневого вибою газогенератора схильні до спучення під впливом високих температур. Це обумовлюється наявністю хімічних компонентів в породах покрівлі: SiO<sub>2</sub> – 70 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> – 0,29 %, CO – 1,52 %, що характеризується коефіцієнтом спучення K<sub>в</sub>=1,52. Зменшення опускання породного шару також обумовлене наявністю зольного залишку потужністю 0,31-0,38 м.

За даних умов спостерігатиметься обвалення породного шару покрівлі з розшаруванням і розтріскуванням його під дією гірського тиску і високих температур. За відсутності кріплення в підземному газогенераторі опускання порід покрівлі на відстані 2,0 м від вибою досягнуть 1072 мм, а на відстані 22,6 м – 475,4 мм. У цій точці покрівля зімкнеться із зольним залишком на підшві.

Ширина вигазованого простору (рис. 4) підземного газогенератора з урахуванням максимального значення коефіцієнта реагування бурого вугілля

$$K_{p.v.} = 0,753, \text{ складе: } h = l \cdot K_{p.v.} = 40,2 \cdot 0,753 = 30,3 \text{ м,}$$

де l<sub>в</sub> – довжина реакційного каналу підземного газогенератора з урахуванням вигазованого простору біля свердловин, l<sub>в</sub>=40,2 м.

Результати розрахунку параметрів вигазованого простору з урахуванням залишкової золи t<sub>з</sub>=0,29-0,38 м і коефіцієнта спучення порід безпосередньої покрівлі K<sub>в</sub>=1,32-1,54, представлені в табл. 2 та рис. 4.

В ході аналітичних досліджень встановлені параметри порожнин вигазовування і порожнин розшарування в породах над газогенератором підготовленими похилими експлуатаційними свердловинами (рис.4), з урахуванням гірничо-геологічних умов і технологічних параметрів вигазовування пласта (рис. 6).

Таблиця 2

Параметри вигазованного простору і порожнин розшарування в породах покрівлі при газифікації буровугільного пласта

Довжина вогневого каналу підземного газогенератора, м	Швидкість посування вогневого вибою, м/доб								
	1,1			1,6			2,0		
	h <sub>max</sub> , мм	V <sub>p max</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>p min</sub> , м <sup>3</sup>	h <sub>max</sub> , мм	V <sub>p max max</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>p min</sub> , м <sup>3</sup>	h <sub>max</sub> , мм	V <sub>p max max</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>p min</sub> , м <sup>3</sup>
30	вигазований простір – 3								
	1565	1759	753	1784	1804	817	1813	1868	1005
	порожнина розшарування – 5								
	812	1064	479	985	1214	538	1105	1250	582
	порожнина розшарування – 6								
	397	655	283	461	729	372	596	846	407
25	вигазований простір – 3								
	1420	1602	712	1456	1658	747	1494	1740	853
	порожнина розшарування – 5								
	561	724	270	596	915	383	680	1012	418
	порожнина розшарування – 6								
	288	441	218	357	634	246	439	707	281

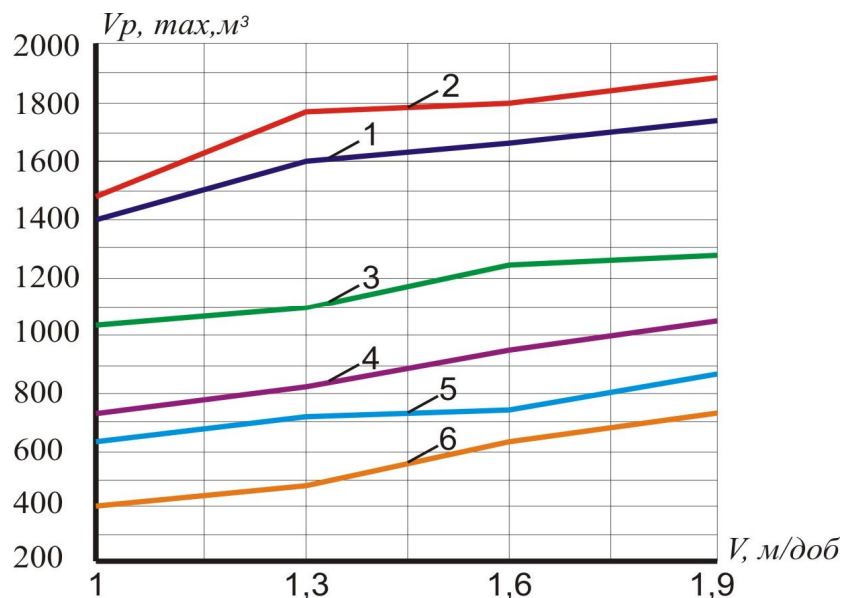


Рис. 6. Максимальні параметри вигазованного простору (1, 2) і порожнин розшарування (3, 4, 5, 6) в породній товщі над газогенератором залежно від довжини реакційного каналу і швидкості вигазування буровугільного пласта: 1, 4, 6 – довжини реакційного каналу 25 м, 2, 3, 5 – довжини реакційного каналу 30 м

Опускання земної поверхні в умовах застосування ін'єкційної закладки при вигазовуванні шару буровугільного пласта визначаються з виразу:

$$\Delta h = m - (K_{cp,y} + m_3) \cdot K_g \cdot K_p,$$

де  $\Delta h$  – опускання земної поверхні при вигазовуванні вугільного пласта, м;  $m$  – потужність шару бурого вугілля, 4 м;  $K_{cp,y}$  – серед коефіцієнт усадки масиву 1,15;  $m_3$  – потужність золозалишку, 0,38 м;  $K_g$  – коефіцієнт спучення порід 1,52;  $K_p$  – коефіцієнт розпушування 1,14.

Підставимо у вираз значення, характерні при газифікації буровугільного пласта БЗ:

$$\Delta h = 4 - (1,05 + 0,38) \cdot 1,52 \cdot 1,14 = 1,52 \text{ м.}$$

Опускання земної поверхні при вигазовуванні шару пласта складе 1,52 м без закладки деформованих порід і вигазованого простору газогенератора.

**Висновки.** Особливості зміни напружено-деформованого стану порід над газогенератором і утворенням аномальних зон гірського тиску пов'язаний з параметрами вигазовування буровугільного пласта і термонапруженнями в породах, прилеглих до реакційного каналу.

Під впливом температур процесу газифікації породи покрівлі і підшви пласта спучуються збільшуючись в об'ємі, крім того залежно від зольності пласта на підшві газогенератора залишається зольний залишок, всі ці чинники впливають на параметри області деформації порід навколо підземного газогенератора.

Встановлені параметри напружено-деформованого стану породовугільної товщі, вигазованого простору і порожнин розшарування при вигазовуванні буровугільного пласта, дозволяють визначити параметри деформації денної поверхні над газогенератором.

Визначивши параметри вигазованого простору і зон розшарування порідної товщі над ним, розробляються параметри закладних робіт з метою забезпечення герметичності газогенератора, надійності і адаптивності процесу газифікації та запобігання деформацій на денній поверхні газогенератора.

#### Список література

1. Казак В.Н., Шейнин В.И. Исследование физических, механических и термических свойств горных пород для целей подземной газификации углей // Научные труды ВНИИ Подземгаз. – М.: Госгортехиздат, 1963. – Вып.10. – С.17-21.
2. Савостьянов А.В., Клочков В.Г. Управление состоянием массива горных пород. – К.: НМКВО, 1992. – 276 с
3. Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Почепов В.М. Геодинамічні зміни у шаруватому породовугільному масиві при підземній газифікації пластів твердого палива // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 7. – С. 22-28
4. Geomechanical model of rockmass containing gas-generator and its industrial estimation. V. Falsztinsky, R.E. Diczkowsky // Scientific Reports on Resource Issues 2010, volume 2/ Publisher: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg, Germany/ p. 192–204.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 29.10.13*