

УДК 622.278 + 662.73

С. В. Жолудєв

*Дніпропетровський національний університет***ДОСЛІДЖУВАННЯ РУХУ ТЕПЛА ТА ВОДИ ПРИ РОБОТІ
ПІДЗЕМНИХ ГЕНЕРАТОРІВ**

Проблема раціонального видобудку вугілля з одночасним захистом навколишнього середовища є одною з пріоритетних для України. Підземні газифікація (ПГВ) і підземне спалювання вугілля (ПСВ), які поєднують розробку корисних копалин з їх одночасною підземною переробкою в єдиному технологічному процесі, здатні вирішити ці проблеми. Одним із способів вдосконалення розробки може бути використання як проміжного теплоносія підземних вод.

Ключові слова: вугілля, підземна газифікація, підземне спалювання, підземні води.

Проблема рациональной добычи угля одновременно с защитой окружающей среды является одной из приоритетных для Украины. Подземные газификация (ПГУ) и подземное сжигание угля (ПСУ), объединяющие разработку полезных ископаемых с их одновременной подземной переработкой в едином технологическом процессе, могут решить эти проблемы. Одним из способов усовершенствования разработки может быть использование промежуточного теплоносителя – подземных вод.

Ключевые слова: уголь, подземная газификация, подземное сжигание, подземные воды.

The problems of coal excavation and environment protection are priority for Ukraine. Underground coal gasification (UCG) and underground coal incineration (UCI) are combining excavation with simultaneous underground processing in entire technological process, capable to solve this problem. Using an intermediate heat carrier - ground water may optimising of these processes.

Key words: coal, underground coal gasification, underground coal incineration, ground water.

Моделювання газо-, гідро- і термодинамічного режимів горіння дозволяє виділити основні проблеми стійкості геотехнічної системи підземного теплогенератору. В умовах високотемпературного поля до них можна віднести підвищену обводненість порід (природний фактор). Її взаємозв'язок з різними технологічними факторами ще більше ускладнює поведінку геотехнічної системи. Але, з іншого боку, це дає можливість технологічними заходами в певній мірі регулювати її стан з метою оптимізації режиму експлуатації.

Для реалізації цієї можливості був розглянутий баланс вод, що беруть участь у процесі підземного горіння. Їхнє надходження в термічну область вогнища відбувається різними шляхами залежно від термодинамічних умов [1, 2]. Водний баланс виглядає таким чином: підземні зв'язані води ($W_{зв}$), підземні вільні води ($W_{гр}$), пірогенетичні води ($W_{п}$) і дуттеві води ($W_{д}$) становлять прибуткову частину, а води, що перейшли в газ ($W_{р}$) і йдуть із газом ($W_{н}$) - видаткову частину.

Позаконтурні води, які не приймають прямої участі в процесі горіння вугілля, у розрахунок не беруться. Таким чином, рівняння балансу має вигляд [3]

$$W_{зв} + W_{гр} + W_{п} + W_{д} = W_{р} + W_{н}, \quad (1)$$

Це дозволяє розрахувати кількість вільних вод, що надходять у підземне вогнище, що у природних умовах через мінливість коефіцієнту водопроникності

© Жолудев С.В., 2013

порід і параметрів вигорілого простору важко визначити. у перерахуванні на 100 кг палива приводиться нижче.

Зв'язані води $W_{зв}$ розраховуються роздільно для вугілля, порід підосви і кривлі, що мають різну вологість і температуру:

Для вугілля

$$W_{св.в} = 100 \omega_v, \quad (2)$$

Для порід підосви

$$W_{зв. п} = ((100 - n) l_p \omega_p \gamma_p \eta_p) / \gamma_p m, \quad (3)$$

Для порід кривлі

$$W_{зв. кр} = ((100 - n) l_{кр} \omega_{кр} \gamma_{кр} \eta_{кр}) / \gamma_{кр} m, \quad (4)$$

Підсумовуючи кількість води, що була визначена за (2) - (4), отримана кількість зв'язаних вод, що надходять у вогнище горіння

$$W_{зв} = W_{зв.в} + W_{зв.п} + W_{зв.кр}, \quad (5)$$

де ω_v , ω_p , $\omega_{кр}$ - кількість зв'язаних вод у вугіллі, породах підосви і кривлі, відповідно;

γ_v , γ_p , $\gamma_{кр}$ - питома вага вугілля, порід підосви і кривлі, відповідно;

m - потужність вугільного шару;

n - кількість зв'язаних вод, що перейшли у вільний стан, але не потрапили у вогнище горіння вугілля (умовно взяті рівними витокам газу з області горіння);

l_p і $l_{кр}$, - потужність зони прогрівання порід підосви і кривлі, відповідно;

η_p і $\eta_{кр}$ - коефіцієнти паровіддачі порід підосви і кривлі, відповідно.

Пірогенетичні води W_p визначаються по кисню вугілля

$$W_p = 18/16 O_{кр} \rho_k, \quad (6)$$

де O_k - зміст кисню у вугіллі;

ρ_k - частка кисню вугілля, що перейшла у воду (на практиці береться 0,6–1,0 залежно від передбачуваних температур у вогнищі горіння вугілля).

Води з дуттям W_d розраховуються по абсолютній вологості дуття

$$W_d = V_d \omega_d, \quad (7)$$

де V_d - кількість подаваного дуття на 100 кг вугілля, що згорас;

ω_d - абсолютна вологість дуття.

Води, що перейшли в газ, W_r , визначаються по змісту водню, що перебуває як у чистому виді, так і у вигляді сполук. До них відноситься пірогенетична вода, сірководень, метан і летучі речовини [3]

$$W_r = \frac{18}{2} [(2H_2(V_r - v_r)/100 \times 22,4) - (H_r - \frac{2}{16} O_k - 0,7 \frac{2}{32} S_r - \frac{4}{12} \beta C_r - 0,1 H_r)], \quad (8)$$

де H_2 - середній зміст водню в газі;

V_{Γ} - кількість газу, яка одержується при горінні 100 кг вугілля;

v_{Γ} - виток газу при горінні 100 кг вугілля;

H_p - вміст водню;

$\frac{2}{16} O_K$ - кількість водню, що перейшов у пірогенетичну воду;

$0,7 \frac{2}{32} S_p$ - кількість водню, що перейшов у сірководень;

$\frac{4}{12} \beta C_p$ - кількість водню, що перейшов у метан;

$0,1 H_p$ - кількість водню, що перейшов у летучі речовини;

O_K, S_p, C_p - зміст кисню, сірки та вуглецю у вугіллі, відповідно;

β - частка вуглецю вугілля, що перейшла в метан.

Води, що відходять із газом, W_H , розраховуються по вологості газу ω_{Γ}

$$W_H = (V_{\Gamma} - v_{\Gamma}) \omega_{\Gamma}, \quad (9)$$

Визначивши складові (1) і вирішивши його відносно $W_{\Gamma p}$, була отримана кількість вільних вод у літрах на 100 кг згорілого вугілля. Таким чином, можна визначити кількість вод всіх видів, що беруть участь у процесі, і підійти до рішення питання оптимізації водного та теплового режимів, відповідно.

Оскільки значення фізико-хімічних характеристик вугілля, порід підосви і кривлі в даних умовах є постійними, регулювання водного балансу, можливо технологічним шляхом, через зміну параметрів дуття, яке подається при штучному розпалюванні вугілля і відбору енергетичного або технологічного газу, який при цьому одержується. За даною методикою був зроблений розрахунок об'єму і вологості дуття, що подається, за умови, що надходження вільних вод у вогнище є оптимальним, тобто відповідно до балансу (1) $W_{\Gamma p} \approx 0$, а температурний режим відповідає кондиції теплоносія. При цьому теплотворна здатність вугілля повинна бути не менш 5,0 МДж/м³, а вологість газів у вогневому каналі 0,25 – 0,3 [4]. Об'єм газів, що відходять, визначений як

$$V_{\Gamma} = 1/V_y, \quad (10)$$

де V_{Γ} – вихід газу з 1 кг вугілля;

V_y – витрати вугілля на одержання 1 м³ газу.

Витрата вугілля визначається як

$$V_y = 12 C_{\Gamma} / 22,4 C_{\text{Свуг}}, \quad (11)$$

де $C_{\text{Свуг}}$ – зміст вуглецю;

C_{Γ} – сума компонентів вуглецю у газі ($C_2 + C + CH_4$).

Розрахований у такий спосіб мінімальний об'єм газу, що відходить, у даних умовах перебуває в інтервалі 370-380 м³/кг, при середній втраті порядку 10%, а результати розрахунків об'ємів дуття при трьох різних значеннях його вологості

представлені на рис. 1 [2].

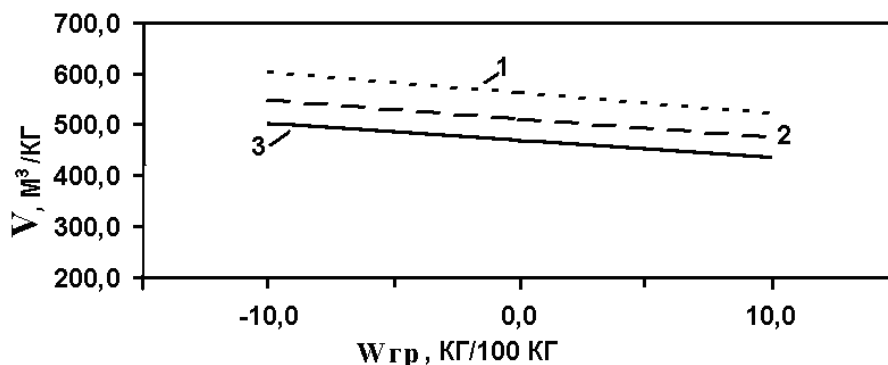


Рис. 1 Об'єм дуття, яке подається до підземного теплогенератора, залежно від вологості геосистеми та дуття: V - об'єм дуття; $W_{гр}$ - кількість вільної води відносно до кількості палива (1 - вологість дуття 0,25, 2 - вологість дуття 0,275, 3 - вологість дуття 0,3).

З розрахунку можна побачити, що об'єм дуття в даних геологічних і гідрогеологічних умовах повинен коливатися в межах 430-600 м³/кг, причому, чим вище його вологість, тим об'єм нижче. Отже, в умовах зниженої вологості середовища збільшення вологості дуття, а при підвищеній вологості - її зменшення, здатно підвищити теплову енергію процесу підземного горіння. Таким чином, використовуючи умову кондиційного теплоносія, об'єму газу, що відходить, його оптимальної вологості і змісти водню, було обчислене кількість вільних вод, що створює найкращі умови для горіння в даній обстановці. Різниця між кількістю вільних вод ($W_{гр}$) і їхнім оптимальним значенням ($W_{гр. опт}$) вказує на дефіцит або надлишок води в області підземного вогнища. При дефіциті в балансі (1) переважає права частина, при надлишку - ліва.

При відомих значеннях об'єму дуття, роль можливого регулювальника водного балансу грає його вологість. На рис. 2 представлена отримана за даною методикою залежність між кількістю вільної води, що бере участь у горінні та вологістю дуття, що дозволяє гнучко регулювати тепловий режим геотехнічної системи.

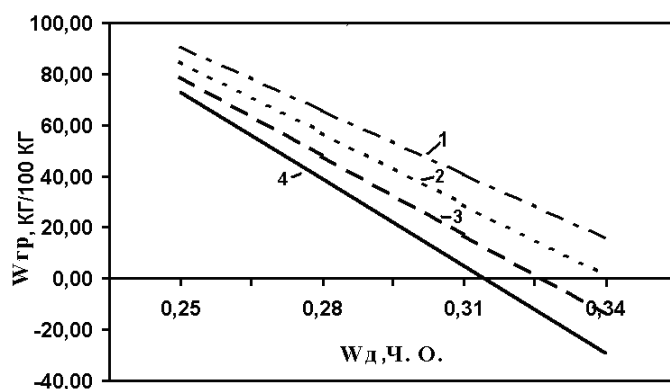


Рис. 2 Надходження вод до вогнища підземного горіння залежно від тиску, об'єму і вологості дуття: $W_{д}$ - вологість дуття; $W_{гр}$ - кількість вільної води відносно до кількості палива (1 - об'єм дуття 200 кг/м³, 2 - об'єм дуття 300 кг/м³, 3 -

об'єм дуття 400 кг/м^3 , 4 - об'єм дуття 500 кг/м^3).

Отримані результати показують, що водний і тепловий режими підземного горіння можна міняти за допомогою варіацій технологічних параметрів, наприклад об'єму і вологості дуття. Крім того, віджимання води зростаючим тиском дуття так само може розглядатися як спосіб зміни умов. Отже, комбінація цих заходів дає можливість у певних межах регулювати процес підземного горіння та його вплив, відповідно. Але в силу існуючих особливостей геологічного середовища ці міри будуть діючими на відносно вузькому діапазоні вологості, близької до оптимального, в інших випадках необхідні кардинальні способи регулювання теплового балансу горіння.

Список використаних джерел

1. Гинзбург Д. Б. Газификация топлива и газогенераторные установки. Ч.1/Под. ред. Шевцова Б. С. – М. – Л.: Гизлегпромп, 1938. – 603 с.
2. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 384 с.
3. Силян-Бекчурин А.И., Богородицкий К.Ф., Кононов В.И. Роль подземных вод и других природных факторов в процессе подземной газификации углей/ Труды Лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф.П.Саваренского, т.ХХІІІ. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1960. – 126 с.
4. Чарный И. А. Основы газовой динамики. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 200 с.

Надійшла до редколегії 21.02.13