

ти удосконалення до технології керування гірським тиском за критеріями геолого-структурної будови слабометаморфізованих порід та ін.

Список літератури

1. Инновация в угольной промышленности // Эксперт. – 2011. – № 5. – 104 с.
2. Півняк Г.Г. Роль вугілля у стійкому розвитку енергетики/ Г.Г. Півняк // Науковий вісник НГА України. – 2001. – № 1. – С. 81 – 84.
3. Тулуб С.Б. Екологічні проблеми розробки вугільних родовищ/ С.Б. Тулуб // Науковий вісник НГА України. – 1999. – № 1. – С. 23 – 26.
4. Дичковський Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах / Р.О. Дичковський. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 262 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.  
Надійшла до редакції 15.10.2014*

УДК 622.278-6

© В.Г. Лозинський

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЇ СВЕРДЛОВИННОЇ ПІДЗЕМНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ  
НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА  
ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**

Проаналізовані наявні методи розрахунку параметрів економічної ефективності станції свердловинної підземної газифікації вугілля. Розроблена методика визначення доцільності вигазовування вугільних пластів підземними газогенераторами на основі розрахунку коефіцієнта економічної ефективності. Визначені граничні умови геометричних параметрів підземних газогенераторів.

Проанализированы имеющиеся методы расчета основных параметров экономической эффективности станции скважиной подземной газификации угля. Разработана методика определения целесообразности выгазовывания угольных пластов подземными газогенераторами на основе расчета коэффициента экономической эффективности. Определены граничные условия геометрических параметров подземных газогенераторов.

The methods of calculation the parameters of economic efficiency of borehole underground coal gasification station are analyzed. The method of determining the practicability of underground coal gasification on the base of commercial efficiency calculation is developed. Boundary conditions of geometrical parameters distribution in underground gasifier are defined.

**Вступ.** Однією з основних причин підвищення зацікавленості до підземної газифікації є економічний аспект. Досвід недалекого минулого [1], показує, що усунення проблем, пов'язаних з недостатньою оцінкою впливу геологічних порушень на процес підземної газифікації вугілля, може виявитися надзвичайно

дорогим. Затрати включають не лише витрати через зміну конфігурації свердловин, а й великі фінансові збитки через втрату залишених запасів вугілля [2, 3]. Відповідно, в даній роботі автор намагається знизити ці втрати, досліджуючи вплив геологічних порушень на процес свердловинної підземної газифікації вугілля з урахуванням стійкості експлуатаційних свердловин.

Дослідження економічної ефективності і доцільності застосування технології свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ) присвячено досить багато публікацій [1-4], в яких висвітлюються результати техніко-економічних аналізів та техніко-економічних розрахунків, що виконувалися з метою виявлення доцільності і обґрунтування перспектив застосування даної технології. З методичної сторони отримання техніко-економічних показників приділяється досить мало уваги. Як виняток, в цьому плані можна відзначити роботу [4], в якій викладена методика розрахунку терміну окупності витрат на реалізацію технології СПГВ. Не зважаючи на вищезазначене типові методики розрахунок основних показників економічної ефективності в даний час не розроблені.

Таким чином, на основі аналізу наявних в літературі даних можна зробити висновок, що викладенні в публікаціях результати економічних розрахунків відносяться до тих або інших окремих випадків, визначених постановкою вирішуваних задач і отриманні при значних спрощеннях і допущеннях, а запровадження даної технології залежить, перш за все від коректності оцінки економічної ефективності.

**Мета роботи:** розробити методику визначення доцільності застосування технології свердловинної підземної газифікації вугілля на основі розрахунку коефіцієнта економічної ефективності для ділянок вугільних пластів що знаходяться в зонах впливу диз'юнктивних геологічних порушень.

**Основна частина.** Впровадження технології свердловинної підземної газифікації вугілля залежить, перш за все, від конкретних гірничо-геологічних умов розглядаючи ділянок вугільних пластів з визначенням оцінки економічної ефективності.

При веденні підземної газифікації одним із стримуючих факторів є геологічна порушеність вугільних пластів. Причому перехід будь-якого геологічного порушення пов'язаний із значними додатковими технологічними ускладненнями й економічними затратами [5].

Перед бурінням свердловин необхідно здійснити прогностичну оцінку економічної ефективності процесу підземної газифікації вугілля для встановлення порядку проведення всіх необхідних заходів щодо забезпечення надійності роботи газогенераторів з мінімальними капітальними й експлуатаційними затратами. Крім цього, прийняття технологічних рішень по переходу диз'юнктивних геологічних порушень залежить від конкретних умов і повинне оцінюватися індивідуально, через те що ведення гірничих робіт у зонах впливу геологічних порушень є досить складним технологічним завданням, яке ускладнюється необхідністю перетину ділянок породовугільного масиву з порушеними фізико-механічними властивостями.

Для проведення дослідження була вибрана північна ділянка шахти «Великомостівська» ДП «Львівугілля» по пласту  $n_7^H$  – Сокальський. Пласт  $n_7^H$  є нижнім робочим пластом. Балансові запаси пласта  $n_7^H$ , в основному відроблені. Залишилась незначна кількість запасів на окремих ділянках південного і північного крил, та біля виробок головних спрямувань. Пласт простої будови, його потужність 1,00 – 1,45 м. Літологічно представлений верхньою гумусовою пачкою і нижньою сапропелевою. Покрівля – аргіліт, подошва – алевроліт. Глибина залягання пласта коливається від 423 м у східній частині шахтного поля до 482 м у західній частині шахтного поля.

За результатами попередніх досліджень для СПГВ вибрано дві ділянки залишених вугільних пластів з диз'юнктивним зміщенням без розриву суцільності вугільного пласта. Спосіб розкриття і підготовки газогенераторів прийнятий за безшахтною технологією, шляхом буріння з поверхні землі вертикально-похило-горизонтальних свердловин. Горизонтальна частина проводиться по вугільному пласті. Газифікація вугілля передбачається за схемою з прямою теплопідготовкою вугілля і періодичним реверсуванням газодуттєвого потоку, а розпалювання вугільного пласта здійснюється бінарними зарядами через дутьову свердловину.

Першою ділянкою, для відпрацювання вугільного пласта за технологією СПГВ, вибрано північно-західну частину залишеного шахтного поля через складні гірничо-геологічні умови. В його межах знаходиться розривне геологічне порушення з розривом суцільності вугільного пласта (рис. 1).

Середня потужність пласта по даній ділянці становить 1,0 м. Буріння свердловин перших газогенераторів проводиться з поверхні землі, де вхід у вугільний пласт знаходиться на відстані 5 м від існуючого геологічного порушення амплітудою 0 – 10 м, та з 112 розвідувального штреку, що знаходиться на відстані 10 м. У зв'язку з наявністю геологічних порушень не було змоги гірничими роботами відпрацювати 20 північну лаву, тому ця лаву була залишена. Закладання газогенераторів в її межах є неможливим у зв'язку з проведенням відносно великої кількості розвідувальних виробок.

Буріння свердловин по вугільному пласту спочатку проводиться у висячому боці до зони підвищених напружень, після чого відбувається викривлення свердловини до пласта в лежачому боці, обминаючи відповідні напруження. Довжина газогенератора в даних умовах визначається межами наявності вугільного пласта і може бути збільшена у разі підтвердження його потужності до розрахункової межі пропускної та аеродинамічної здатності.

Процес вигазовування відбувається за підняттям вугільного пласта. Можливість вигазовування найкоротших газогенераторів визначається з економічного обґрунтування доцільності їх розробки і наведена в наступному підрозділі.

Після вигазовування вугілля у лежачому боці газогенератора необхідно провести повторне розпалювання вугілля. Для здійснення формування вогневого вибою пропонується використовувати спосіб розпалення вугільного пласта бінарними зарядами, що розроблений співробітниками кафедри підземної розробки родовищ та кафедри хімії Національного гірничого університету. Такий





ділянкою № 1 є незначними, проте на певному етапі вигазовування, у зв'язку з переходом геологічного порушення, ефективність процесу газифікації знизиться, про що свідчитиме вихід генераторного газу низької якості.

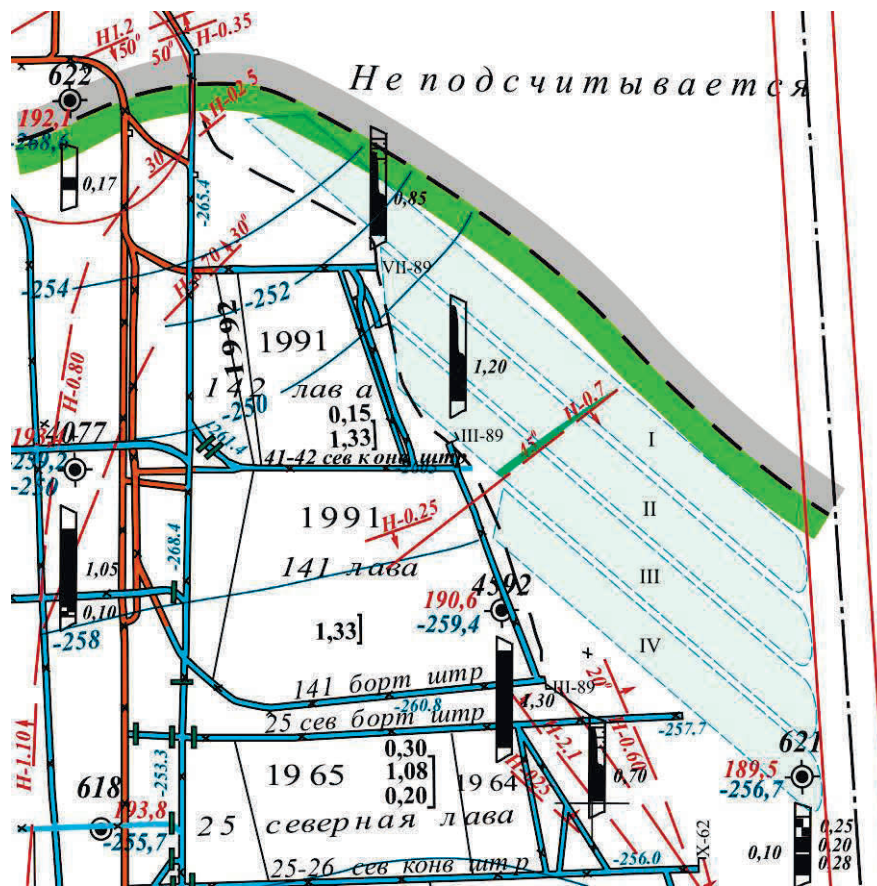


Рис. 2. План ділянки № 2 для впровадження технології СПГВ

На відміну від ділянки № 1 довжина газогенераторів на ділянці № 2 визначається межею шахтного поля. Між газогенераторами, а також між свердловинами та виробками залишаються цілики вугілля для запобігання втрат дуття та газу. Детальне вивчення гірничо-геологічних умов залягання вугільного пласта, що провадилося під час проведення гірничих виробок, є вкрай необхідним для вибору раціонального місця закладання підземних газогенераторів.

Базуючись на аналізі наявного досвіду підземної газифікації вугільних пластів на пілотних та експериментальних станціях, а також проведених власних дослідженнях на експериментальній стендовій установці, описані вище ділянки вугільних пластів можна розробляти впроваджуючи запропоновану технологію. У подальшому необхідно додатково вивчити інші ділянки вугільних пластів, залишені після експлуатації шахт, підземна розробка яких традиційним способом неефективна й недоцільна і які за розширеними критеріями можуть бути придатні до СПГВ.

Детальний аналіз економічних розрахунків впровадження технології підземної газифікації є дуже важливий для прийняття економічно ефективних та

обґрунтованих рішень щодо планування, будівництва, експлуатації та моніторингу станції СПГВ. Як вже зазначалося на сьогодні ще немає універсальної методики розрахунку економічної ефективності процесу газифікації, а існуючі станції підземної газифікації працюють за власними економічними оцінками, співставляючи індивідуальні затрати та прибутки, що отримані від реалізації отриманої продукції.

Найбільш достовірні показники економічної ефективності можуть бути отриманні на основі даних щодо фактичних капітальних та експлуатаційних затрат, отриманих після впровадження технології підземної газифікації. Економічна ж оцінка запропонованих заходів автором статті надається при розрахунку коефіцієнта економічної ефективності, як відношення отриманого результату до витрат, що його зумовили. Такий коефіцієнт може бути отриманий з виразу

$$E = \frac{P}{C}, \quad (1)$$

де  $P$  – сумарна вартість реалізації отриманої продукції, тис. грн;  $C$  – сумарні витрати на підготовку газогенератора та його вигазовування, тис. грн

$$C = \frac{100}{K} \cdot C_1,$$

де  $K$  – процентна складова вартості буріння до затрат по обслуговуванню та забезпечення вигазовування газогенератора. За даними роботи станцій підземної газифікації  $K = 30\%$ .  $C_1$  – витрати на підготовку газогенератора, тис. грн.

$$C_1 = ((h_{г.н} + l_{г.г}) \cdot N_c + l_{р.к}) \cdot C_c,$$

де  $h_{г.н}$  – глибина залягання вугільного пласта, м;  $l_{г.г}$  – довжина газогенератора, м;  $N_c$  – кількість свердловин для розкриття газогенератора, шт.;  $l_{р.к}$  – довжина реакційного каналу підземного газогенератора, м;  $C_c$  – витрати на буріння 1 м свердловини, тис. грн.

З виразу (1) сумарну вартість реалізації отриманої продукції  $P$  можна знайти з наступних формул

$$P = P_1 + P_2,$$

де  $P_1$  – вартість реалізації отриманої енергії, тис. грн;  $P_2$  – вартість реалізації отриманих хімічних продуктів, тис. грн

$$P_1 = \sum V_{г.г} \cdot Q_{г.г} \cdot P_Q,$$

де  $\sum V_{г.г}$  – сумарний вихід генераторного газу з газогенератора, тис./м<sup>3</sup>;  $Q_{г.г}$  – середня теплота згоряння генераторного газу, МДж/м<sup>3</sup>;  $P_Q$  – вартість 1 МДж енергії, грн

$$P_Q = \frac{P_{н.г}}{Q_{н.г}},$$

де  $P_{н.г}$  – вартість природного газу, грн/тис. м<sup>3</sup>;  $Q_{н.г}$  – теплота згоряння природного газу, МДж/тис. м<sup>3</sup>

$$P_2 = M_6 \cdot (M_{x.n} \cdot P_{x.n} + (M_{x.n} \cdot P_{x.n})_n),$$

де  $M_6$  – маса вигазованого вугілля, т;  $M_{x.n}$  – маса виходу хімічного продукту;  $P_{x.n}$  – ринкова вартість реалізації 1 тонни хімічного продукту, тис. грн

$$M_6 = M_{6.2.2} - M_{втрав},$$

де  $M_{6.2.2}$  – маса вугілля в газогенераторі, тис. грн;  $M_{втрав}$  – маса втраченого вугілля, тис. грн

$$M_{6.2.2} = S_{2.2} \cdot \gamma \cdot t,$$

де  $S_{2.2}$  – площа газогенератора, м<sup>2</sup>;  $\gamma$  – щільність вугілля, т/м<sup>3</sup>;  $t$  – потужність вугільного пласта, м.

$$M_{втрав} = M_p + M_{n.p} + M_c,$$

де  $M_p$  – втрати вугілля на формування реакційного каналу, т;  $M_{n.p}$  – втрати вугілля на повторне розпалення реакційного каналу, т (при переході геологічного порушення з розривом суцільності вугільного пласта);  $M_c$  – втрати вугілля на перехід геологічного порушення без розриву вугільного пласта, т.

Результати виконаних розрахунків, що зроблені на основі геометричних параметрів газогенераторів, та проведених досліджень (табл. 1) для кожного з газогенераторів двох ділянок наведено в табл. 2 – 4.

З економічної точки зору відпрацювання вугільного пласта в межах ділянки № 2 є більш ефективним, оскільки викривлення свердловини відбувається в межах вугільного пласта, і не має потреби здійснювати його повторне розпалення. При переході геологічного порушення з розривом суцільності вугільного пласта втрати вугілля становлять до 6 %, а при переході геологічного порушення без розриву суцільності вугільного пласта максимальне значення становить 1,6 %. На основі проведених розрахунків отримана залежність зміни коефіцієнта економічної ефективності від довжини підземної частини газогенератора (рис. 3).

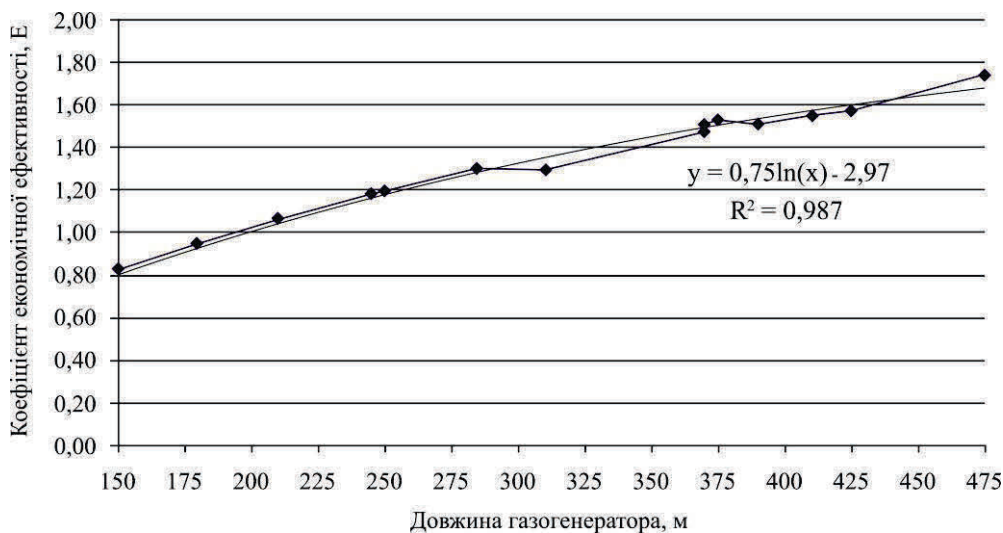


Рис. 3. Залежність зміни коефіцієнта економічної ефективності від довжини підземної частини газогенератора

Таблиця 1

## Геометричні параметри газогенераторів (гг)

№ гг	Довжина гг, м	Площа гг, м <sup>2</sup>	Маса вугілля в гг, т	Площа зони відсікання, м	Втрати вугілля		
					з зони відсікання, т	на формування реакційного(-их) каналу(-ів), т	з гг, %
Ділянка №1							
I	370	11 100	16 095	330	479	174	4,05
II	390	11 700	16 965	450	653	174	4,87
III	410	12 300	17 835	480	696	174	4,88
IV	425	12 750	18 488	530	769	174	5,10
V	310	9 300	13 485	480	696	174	6,45
VI	250	7 500	10 875	-	-	87	0,80
VII	245	7 350	10 658	-	-	87	0,82
VIII	210	6 300	9 135	-	-	87	0,95
IX	180	5 400	7 830	-	-	87	1,11
X	150	4 500	6 525	-	-	87	1,33
Ділянка №2							
I	475	14 250	20 663	-	-	196	0,95
II	375	11 250	16 313	-	-	218	1,33
III	370	11 100	16 095	-	-	261	1,62
IV	285	8 550	12 398	-	-	87	0,70
Всього	4 445	133 350	193 358	2 270	3 292	2 066	2,77

Таблиця 2

## Результати розрахунку вартості отриманих хімічних продуктів

Ділянка		1	2	Сумарно	
Вихід хімічної продукції, тонн з 1 т вугілля	Смола	0,044	5 425	2 847	8 272
	Бензол	0,037	4 562	2 394	6 956
	Аміак	0,099	12 206	6 406	18 612
	Сірка	0,074	9 124	4 788	13 912
	Феноли	0,008	925	485	1 410
	Амоній	0,014	1 726	906	2 632
Ціна хімічної продукції, тис.грн	1 т хім. продукту				
	Смола	2,7	14 647	7 687	22 334
	Бензол	7,9	36 039	18 914	54 952
	Аміак	5,5	67 133	35 233	102 366
	Сірка	3,4	31 021	16 280	47 301
	Феноли	50,0	46 235	24 265	70 500
	Амоній	2,6	4 488	2 355	6 843
Вартість реалізації отриманих хімічних продуктів, тис. грн		199 563	104 734	304 296	
Всього, тис. грн		525 983	276 044	802 026	



Таблиця 3

## Результати розрахунку вартості отриманої енергії

Ділянка	1	2	Сумарно	
Вигазованого вугілля, т	123 294	64 706	188 000	
Сумарний вихід генераторного газу, тис.м <sup>3</sup>	271 246	142 354	413 599	
Вихід генераторних газів, тис.м <sup>3</sup>	СН <sub>4</sub>	29 837	15 659	45 496
	СО	66 455	34 877	101 332
	Н <sub>2</sub>	17 631	9 253	26 884
	Баластні гази	157 323	82 565	239 888
Середня теплота згоряння генераторного газу, МДж/м <sup>3</sup>	7,75			
Вартість 1 МДж енергії, грн	0,16			
Вартість реалізації отриманої енергії, тис. грн	326 420	171 310	497 730	

Таблиця 4

## Загальна ефективність запропонованих заходів

№ гг	Довжина гг, м	Вигазованого вугілля, т	Витрати на підготовку газогенератора, тис. грн	Вартість реалізації отриманої продукції, тис. грн	Загальні витрати, тис. грн	Коефіцієнт економічної ефективності
Ділянка №1						
I	370	15 443	15 652	65 879	44 720	1,47
II	390	16 139	16 016	68 849	45 760	1,50
III	410	16 965	16 380	72 374	46 800	1,55
IV	425	17 545	16 653	74 849	47 580	1,57
V	310	12 615	14 560	53 817	41 600	1,29
VI	250	10 788	13 468	46 023	38 480	1,20
VII	245	10 571	13 377	45 095	38 220	1,18
VIII	210	9 048	12 740	38 600	36 400	1,06
IX	180	7 743	12 194	33 032	34 840	0,95
X	150	6 438	11 648	27 465	33 280	0,83
Всього	2940	123 294	142 688	525 983	407 680	1,29
Ділянка №2						
I	475	20 467	17 563	87 313	50 180	1,74
II	375	16 095	15 743	68 663	44 980	1,53
III	370	15 834	15 652	67 549	44 720	1,51
IV	285	12 311	14 105	52 518	40 300	1,30
Всього	1 505	64 706	63 063	276 044	180 180	1,53
Сумарно	4 445	188 000	205 751	802 026	587 860	1,36

Щодо аналізу отриманого коефіцієнта економічної ефективності, то його значення підтверджує доцільність впровадження запропонованих заходів та технологічних рішень при переході зон геологічної порушеності гірського масиву в умовах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну лише для газо-

генераторів, довжина яких перевищує 200 м. В іншому випадку затрати на проведення газогенераторів та вигазовування вугільного пласта не покривають витрати на отримання товарної продукції.

Використання сучасних технологічних розробок, окрім значного економічного ефекту має й екологічні переваги застосування чистих вугільних технологій (Clean Coal Technology). Прогресивні технологічні рішення розроблені на сучасному рівні науки, мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище, що дозволяє досить ефективно використовувати існуючі переваги свердловинної підземної газифікації вугілля.

Замкнений цикл підземної газифікації вугілля дає можливість вирішити актуальну екологічну проблему утилізації, переробки димових газів та відходів енергетичних підприємств. Газ СПГВ не вимагає додаткової підготовки і використовується як енергоресурс для отримання теплової та електричної енергії на самій станції підземної газифікації за допомогою поршневих агрегатів, паротурбінних або газотурбінних установках.

**Висновки.** На основі проведених досліджень автором було визначено доцільність застосування технології СПГВ на основі розрахунку коефіцієнта економічної ефективності, а саме:

– встановлено, що для розглянутих умов довжина газогенераторів повинна становити не менше 200 м, для покриття витрат на отримання товарної продукції;

– економічна оцінка, що проведена на основі розрахунку коефіцієнта економічної ефективності, підтверджує доцільність застосування технології свердловинної підземної газифікації вугілля при вигазовуванні вугілля в зонах геологічної порушеності гірського масиву.

#### Список літератури

1. Olateju B. Techno-economic assessment of hydrogen production from underground coal gasification (UCG) in Western Canada with carbon capture and sequestration (CCS) for upgrading bitumen from oil sands / B. Olateju, A. Kumar // *Applied Energy*. – 2013. – Т. 111. – Р. 428 – 440.
2. Дичковський Р.О. Економічна доцільність сумісного відпрацювання вугільних пластів способом свердловинної підземної газифікації. / Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський, П.Б. Саїк [та ін.] // Школа підземної розробки: матер. V міжн. наук. практ. конф. – Д.: НГУ, 2011. – С. 403 – 411.
3. Falsztinskij W.S. Ekonomiczne uzasadnienie celowości doszczelniania skał stropowych nad obszarem podziemnego zgazowania węgla metodą otworów wiertniczych / W.S. Falsztinskij, R.E. Diczkowski, W.G. Łozinskij // *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko*. – 2010. – Р. 51 – 59.
4. Дичковський Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах: монографія / Р.О. Дичковський. – Д. НГУ. 2013. – 262 с.
5. Лозинський В.Г. Інтенсифікація процесу свердловинної підземної газифікації вугілля малопотужних вугільних пластів / В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк // *Наукова весна: матер. III Всеукр. наук. техн. конф.* – Д.: ДВНЗ НГУ, 2012. – С 39 – 40.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ковалевською І.А.  
Надійшла до редакції 23.09.2014*