

*W.S. Falsztinskij**, *R.E. Diczkowski**, *W.G. Łozinskij**

EKONOMICZNE UZASADNIENIE CELOWOŚCI DOSZCZELNIANIA SKAŁ STROPOWYCH NAD OBSZAREM PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA METODĄ OTWORÓW WIERTNICZYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono celowość stosowania uszczelniania skał stropu generatora gazu w procesie podziemnego zgazowania węgla. Na przykładzie jednej z kopalń Zachodniego Donbasu pokazano zmiany charakterystyk deformacji warstw skalnych, przemieszczeń skał stropowych z uwzględnieniem wpływu iniekcji podsadzki w szczeliny górotworu. Wykazano, że iniekcyjne uszczelnienie górotworu zwiększa kaloryczność gazów, zwiększa wydatek i ciągłość procesów zgazowania. Przeprowadzone wyliczenia wykazały także, że zastosowanie uszczelniania zwiększa efektywność ekonomiczną procesów zgazowania.

Economical justification of effectiveness the sealing rockmass above the gas generator for borehole coal gasification

Abstract

In article the effectiveness of sealing the roof rocks above gas generator during underground coal gasification is presented. The changes of deformation characteristics rock layers, lowering the roof with account of injection stowing in rockmass infringements on example of one mine in Western Donbass (Ukraine) is shown. It is proved, that injection sealing increases the calorific value of generator gasses, gas generator productivity and process flowing. Conducted accounts and definitions show that sealing increase the economic effectiveness of gasification.

WPROWADZENIE

Na światowym rynku paliw i energii należy oczekiwać zaostrzenia się wzajemnych relacji między poszczególnymi państwami – wynikającego przede wszystkim z przyspieszonego rozwoju gospodarczego państw Dalekiego Wschodu. W najbliższych kilkunastu latach należy spodziewać się deficytu podaży ropy naftowej i gazu. Już obecnie daje się zauważyć wzrost cen węgla. Jest to szczególnie ważne dla Ukrainy, w której większość paliw węglowodorowych jest importowana. Jednocześnie, stopniowe wyczerpywanie się zasobów węgla powoduje konieczność ponownego ich zbilansowania oraz oszczędniejszego gospodarowania nimi. Należy również przewartościować stosunek do energii uzyskiwanej z węgla na rzecz większego jej wykorzystania w bilansie energetycznym kraju.

Zapewnienie szybkiego rozwoju branży węglowo-energetycznej Ukrainy jest ściśle związane z jakościowym rozwojem nowatorskich technologii przekształcania węgla w energię cieplną i elektryczną. Rozwój i wdrożenie technologii, które zapewnią

* Narodowy Uniwersytet Górniczy, Dniepropietrowsk, Ukraina

kompleksowy przerób pokładów węglowych w miejscu ich zalegania z równoczesnym uzyskaniem energii cieplnej, elektrycznej oraz produktów chemicznych, jest jakościowym „skokiem”, który spowoduje rozwój wielu segmentów poszczególnych branż: węglowej, energetycznej i chemicznej. Końcowym produktem takiej działalności będzie nie węgiel jako surowiec do dalszego przerobu, a megawaty energii cieplnej, elektrycznej oraz surowce i produkty chemiczne. Jedną z takich technologii jest odwiertowe podziemne zgazowanie węgla (SPGW).

1. ROLA DOSZCZELNIANIA GÓROTWORU W PROCESIE ZGAZOWANIA POKŁADÓW WĘGLA

Jednym z podstawowych problemów związanych z podziemnym zgazowaniem węgla jest szczelność podziemnego generatora gazu. Rozwiązaniem tego problemu jest zwiększenie szczelności górotworu, a w wyniku tego – bezpieczeństwa pracy podziemnego generatora gazu, przez iniekcję materiału podsadzkiowego w szczeliny skał stropu i przestrzeń powstałą po zgazowaniu węgla. Właściwe parametry technologiczne procesu zgazowania oraz metody uszczelniania mogą być dobierane na podstawie analizy dynamiki zmian pola temperaturowego, w otoczeniu podziemnego generatora gazu, stanu naprężeń zdeformowanego górotworu oraz obliczeń w przestrzeni i czasie bilansu cieplnego i materiałowego.

Do analizy mechanizmu zachowania się górotworu w czasie zgazowania węgla wybrano metodę NGU, która polega na opracowaniu modelu matematycznego, z możliwością symulacji charakterystycznych parametrów procesu zgazowania warstw węglowych. Podstawę do wykonania obliczeń stanowiły dane ze stratygraficznego profilu otworów wiertniczych, górnictwo-geologiczna charakterystyka wybranego odcinka oraz założone technologiczne parametry procesu zgazowania. Na podstawie oceny przydatności warstw węglowych do podziemnego zgazowania wybrano parcele złoża węglowego Zachodniego Donbasu SA „Pawłogradugol” o głębokości zalegania 170–340 m. Konkretne geologiczne parametry parceli przeznaczonej do zgazyfikowania oraz technologiczne parametry procesu SPGW wynikające z obliczeń, zostały wprowadzone do systemu PEOM. Wyniki obliczeń geometrycznych, fizycznych parametrów wykresów obciążeń, obniżen i poziomych przemieszczeń warstw skalnych osiadającego masywu wyświetlano na ekranie monitora w postaci tabel, wykresów i przebiegów funkcji w czasie.

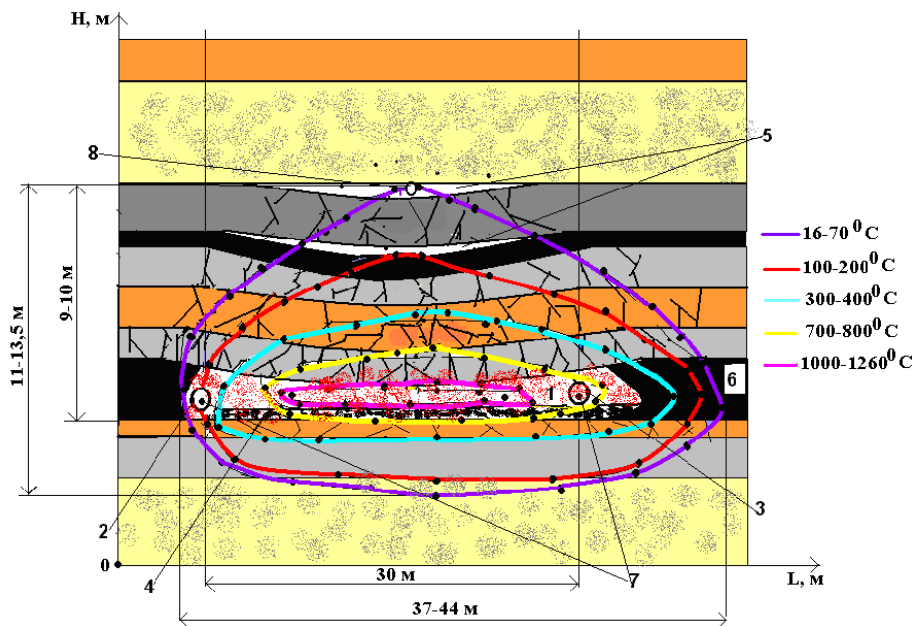
Badania stanu naprężeń w odkształconym nadkładzie, z uwzględnieniem dynamiki i parametrów formowania kawern rozwarstwienia górotworu, znajdujących się w generatorze gazu, pozwoliły na ustalenie ich występowania i zmiany rozmiarów w zależności od naturalnych czynników i parametrów technologicznych.

2. ROZKŁAD POLA TEMPERATURY W OTOCZENIU PODZIEMNEGO GENERATORA GAZU

W analitycznym rozwiązywaniu zagadnienia wymiany ciepła produktów gazyfikacji ze skałami przyjmuje się quasi-stacjonarny system, nieizotermiczną płynność produktów wysokotemperaturowych, z obliczeniem ich wymiany cieplnej z górotwo-

rem podczas SPGW. Przyjmuje się, że skały są izotropowe i charakteryzują się średnim współczynnikiem przewodności cieplnej. Na powierzchni skały występuje wymiana ciepła z lotnymi produktami zgazowania, które próbują, pod działaniem ciśnienia stworzonego w podziemnym generatorze gazu, przeniknąć w głąb skał zalegających nad warstwą węgla, po pionowych pęknięciach i rozwarstwieniach, które pojawiają się w wyniku działania ciśnienia górotworu, przy zgazowaniu warstwy węglowej. Współczynnik wymiany ciepła w tych warunkach jest o tyle duży, że dopuszczalne jest przyjęcie warunków I rodzaju na granicy gaz SPGW – skała.

W wyniku badań ustalono, że maksymalny zasięg pola temperatury zlokalizowanego ponad ogniowym kanałem, na krawędzi przejścia strefy utleniania w strefę redukcji z temperaturą 950–1200°C wynosi: szerokość strefy przejścia 0,74–1,5 m, wysokość rozchodzenia się temperatury do 9,0 m od pokładu węglowego prostopadle do uwarstwienia skały (rys. 1).



Rys. 1. Parametry nagrzewania się górotworu w przekroju warstw; 1 – reakcyjny kanał podziemnego generatora gazu, 2 – pochyło-poziomy otwór napowietrzania, 3 – pochyło-poziomy otwór przewodu gazowego odbiorczego, 4 – szłaka i popiół, 5 – kawerny rozwarstwienia skał stropowych, 6 – warstwa węgla, 7 – rurociąg giętki, 8 – rurociąg podsadzkowy

Fig. 1. Parameters of rock mass heating in the strata cross-section; 1 – reaction channel of underground gas generator, 2 – inclined-horizontal aeration borehole, 3 – inclined-horizontal borehole of receiving gas conduit, 4 – slag and ash, 5 – caverns of roof strata delamination, 6 – coal layer, 7 – flexible pipeline, 8 – backfilling pipeline

3. MATERIAŁ PODSADZKOWY DO DOSZCZELNIANIA GÓROTWORU W OTOCZENIU PODZIEMNEGO GENERATORA GAZU

Na podstawie badań i doświadczeń z pracy stacji „Podzjemgaza” zaproponowano trzy konstrukcje podziemnego generatora gazu, z różnymi technologicznymi schematami udostępnienia i procesem prowadzenia prac iniekcyjno-podsadzkowych przy gazyfikacji warstwy węglowej (Sawostjanow, Kloczkow 1992).

Jako materiał wypełniający przewidziano zastosowanie mieszanek ilowych z wodą na bazie glin kaolinowych i bentonitowych. Mieszanka ilowa zastosowana do iniekcji, pod działaniem temperatury powoli traci swoje właściwości transportowe i pęczniąc zwiększa swą objętość, izolując pory, pęknięcia i rozwarstwienia w górotworze. Zużycie mieszanki ilowej, w zależności od prędkości zatłaczania i długości kanału ogniowego podziemnego generatora gazu, wynosi 95,8–478,3 t/dobę.

Na podstawie badań parametrów geomechanicznych zachowania się górotworu i temperatury, przy zgazowaniu cienkich warstw węglowych, wyznaczono parametry obszaru zatłaczania do skał stropu i przestrzeni powstałej po zgazowaniu węgla, z uwzględnieniem czasu i przestrzeni (tabl. 1).

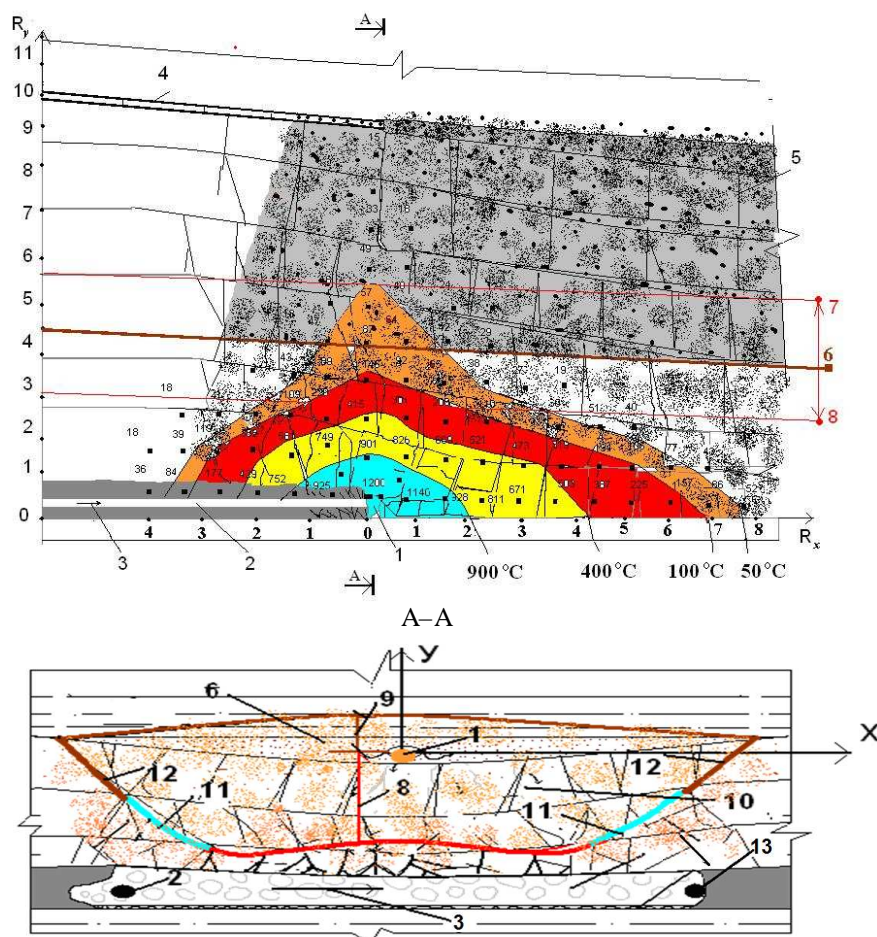
Tablica 1. Iniekcja nadkładu podziemnego generatora gazu

Czas iniekcji godz.		Średnia przepuszczalność D	Średni przeswit pęknięć, m	R_x / R_y	Promień tłoczenia m	
T_x	T_y				R_x	R_y
0,5	0,5	894	4,86·10 ⁻³	2,48	7,2	2,9
1,0	1,0			2,97	13,4	4,5
1,5	1,5			3,38	18,3	5,4
2,0	2,0			3,44	22,7	6,6

Parametry obszaru iniekcji nadkładu, zlokalizowanego nad generatorem gazowym, zależą od: szczelinowatości skał, czasu iniekcji, ciśnienia tłoczenia mieszanki podsadzkowej, rozmiarów pasa podsadzkowego w masywie skalnym oraz stopnia nagrzania nadkładu (rys. 2).

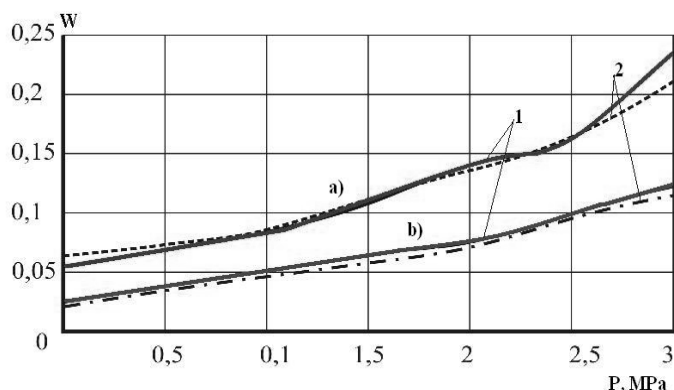
Fizyczne i geometryczne parametry danego obszaru są następujące: dolna granica podsadzki ($R_u = 6,6$ m z obliczeniem utwardzenia zatłaczanej mieszanki podsadzkowej pod działaniem konwekcyjnych strumieni cieplnych ze średnią temperaturą $T = 317,8^\circ\text{C}$); górna granica masywu podsadzkowego ($R_u = 1,5\text{--}2,4$ m, zmienna w zależności od sposobu podsadzania (grawitacyjny albo pneumatyczny); obszar formowania iniekcyjno-podsadzkowego górotworu z aktywną strefą $S = 149,8$ m²; granice aktywnego rozprzestrzeniania się górotworu z minimalnym działaniem temperatury $T = 172,4\text{--}65,8^\circ\text{C}$. Strefa górnej biernej granicy podsadzki zależy od sposobu podsadzania i stopnia naturalnej i technogennej szczelinowatości warstw skalnych wzdłuż uwarstwienia i prostopadle do nich.

Obniżenia (odkształcenia) powierzchni ziemi w warunkach zastosowania podsadzki iniekcyjnej, przy zgazowaniu cienkich pokładów węglowych nie przekraczają 12–18% miąższości warstwy węglowej (Falsztinskij i in. 2007). Określone, na podstawie badań analitycznych zależności, straty produktów SPGW, przy zmianie ciśnienia i szczelności skał nadkładu, przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Obszar iniekcji nadkładu nad generatorem gazu: 1 – kanał reakcyjny generatora gazu, 2 – otwór napowietrzania, 3 – kierunek ruchu mieszanki napowietrzania, 4 – otwór do włączania podsadzki, 5 – obszar podsadzania, 6 – dolna granica iniekcji pod działaniem ciśnienia i czasu, 7 – górną granicę temperatury, która wpływa na właściwości relaksacji włączanej mieszanki podsadzki (50–180°C), 8 – dolna granica działania temperatury (180–400°C) na mieszaninę podsadzkową (zmniejszenie zdolności transportowej, pęcznienia i spiekania gliny do utworzenia konglomeratu razem z odesktałconymi skałami nadkładu), 9 – górną granicę podsadzania $R_y = 1,5\text{--}2,4$ m, zależna od sposobów podsadzania (hydrauliczna, pneumatyczna), 10 – strefa podsadzania iniekcijnego z przekrojem $S = 149,8$ m², 11 – granica rozszerzania materiału podsadzkowego przy temperaturze $T = 172,4\text{--}65,8^\circ\text{C}$, 12 – górną granicę pasywnego podsadzania w strefy rozwarstwiania, 13 – otwór odprowadzający produkty gazyfikacji

Fig. 2. Region of overburden injection over the gas generator: 1 – reaction channel of gas generator, 2 – aeration borehole, 3 – direction of motion of aeration mixture, 4 – borehole for backfill injection, 5 – backfilling area, 6 – lower injection limit under the effect of pressure and times, 7 – upper limit of temperature which affect the relaxation properties of injected backfill mixture (50–180°C), 8 – lower temperature limit (180–400°C) of effect on backfill mixture (decrease of transport capability, swelling and sintering of clay up to creation of a conglomerate with deformed overburden strata), 9 – upper limit of backfilling $R_y = 1,5\text{--}2,4$ m, depending on the method of backfilling (hydraulic, pneumatic), 10 – zone of injection backfilling with the cross-section $S = 149,8$ m², 11 – limit of expansion of backfill material at temperature $T = 172,4\text{--}65,8^\circ\text{C}$, 12 – upper limit of passive backfilling into the delamination zones, 13 – borehole to carry away gasification products



Rys. 3. Straty produktów SPGW w zależności od ciśnienia w kanale reakcyjnym i stopnia szczelności skał stropowych: P – ciśnienie w kanale reakcyjnym, W – współczynnik strat produktów gazyfikacji, a – straty mieszanki nadmuchu i gazów przy gazogeneratorze bez zastosowania iniekcyjnej podsadzki; b – straty mieszanki nadmuchu i gazów przy gazogeneratorze z zastosowaniem iniekcyjnej podsadzki; 1 – długość kanału ogniowego 30 m, 2 – długość kanału ogniowego 25 m

Fig. 3. Loss of SPGW products depending on the pressure in the reaction channel and degree of tightness of roof strata: P – pressure in reaction channel, W – coefficient of loss of gasification products, a – loss of blow-in mixture and of gases in the case of gas generator without using the injection backfillings; b – loss of blow-in mixture and of gases in the case of gas generator with using the injection backfilling; 1 – length of fire channel 30 m; 2 – length of fire channel 25 m

4. WPŁYW CIŚNIENIA I SKŁADU MIESZANKI NADMUCHU NA PARAMETRY UŻYTKOWE PRODUKTÓW ZGAZOWANIA WĘGLA

Przy zwiększeniu ciśnienia w ogniowym reaktorze z 1,0 do 3,0 MPa straty wydmuchu gazu zwiększały się i wynosiły 7,0–21,4% przy długości kanału ogniowego 25 m i 7,5–24,8% przy zwiększeniu długości kanału do 30 m. Te wartości gwałtownie malały przy uszczelnianiu szczelin w skałach stropu wtłaczaną mieszaniną podsadzkową. Przy zmianie ciśnienia w generatorze gazu do 1–3 MPa straty wynosiły 2,4–11,3%. W ten sposób, zmniejszenie szczelinowatości warstwowej skał nadkładu, przez iniekcję gliniastych roztworów w strefę spękań, pozwoliło na zmniejszenie migracji produktów SPGW o wysokiej temperaturze w skały otaczające podziemny generator gazu.

Do określenia parametrów zanieczyszczenia gazów produktami termicznego rozkładu górotworu przy gazyfikacji warstw węglowych wykonano obliczenia bilansu materiałowego procesu SPGW, z obliczeniem wydatku produktów chemicznych (kondensatów) wraz z gazami SPGW, przy różnych konstrukcjach podziemnych generatorów gazu (tabl. 2, 3).

Na podstawie otrzymanych wyników, a także z doświadczeń uzyskanych podczas pracy stacji „Podzemgaz”, można stwierdzić, że jakościowe i ilościowe parametry chemicznych produktów SPGW zależą nie tylko od jakości węgla, warunków górniczo-geologicznych, składu zatlaczanej mieszanki gazowej, lecz także od zastosowania w konstrukcjach podziemnych generatorów gazu wypełnienia warstw skalnych zloka-

lizowanych nad warstwami zgazowanego węgla oraz przestrzeni powstałej po zgazowaniu węgla (Bondarenko i in. 2007; Falsztinskij, Diczkowski 2006).

Tablica 2. Wyniki analitycznych doświadczeń bilansu materiałowego procesu SPGW, przy różnym składzie mieszanki nadmuchu

Właczana mieszanka nadmuchu	Skład mieszanki nadmuchu, %			Skład gazów z procesu SPGW, %							Wartość opałowa gazu Q MJ/m ³	Współczynnik sprawności procesu, % η_x
	O ₂	CO ₂	para	H ₂	CH ₄	CO	N ₂	H ₂ S	CO ₂	O ₂		
O ₂ N ₂	23	-	-	9,4	5,7	18,9	55,3	0,35	9,3	1,2	5,4	72,0
	65	-	-	16,3	9,8	33,5	20,0	0,8	16,0	3,2	9,6	76,0
	60	-	-	17,2	10,7	34,9	20,1	0,7	14,3	2,6	9,8	77,0
H ₂ O+O ₂	23	-	8	10,1	6,0	19,3	54,5	0,5	8,0	1,4	5,7	73,0
	55	-	19,6	17,5	10,5	35,4	6,0	1,0	25,4	4,0	10,2	78,0
	55	-	34,0	19,2	11,5	28,9	7,2	1,1	18,6	3,3	11,2	82,0
CO ₂ +O ₂	55	41,8	-	17,9	10,1	48,1	1,8	1,2	17,3	34,3	11,6	86,0
	50	32,6	-	16,9	9,6	43,8	2,1	1,1	22,0	3,4	0,9	85,0
	50	43,5	-	17,5	9,7	47,8	2,2	1,1	18,0	3,4	11,5	86,0
CO ₂ +O ₂ +H ₂ O	50	32,6	13,3	18,1	10,3	46,9	2,5	0,9	17,7	3,3	11,7	87,0
	45	39,1	12,0	17,7	9,9	48,2	2,41	0,8	17,5	3,2	11,7	87,0

Tablica 3. Bilans materiałowy składu chemicznego kondensatu przy zgazowaniu warstw węglowych typu DG

Skład zatłaczanej mieszanki gazów	Wydatek chemicznych produktów gazyfikacji (kg/dobę)							
	smoła powęglowa		surowy benzen		amoniak		siarka	
	bez wypełnienia	z wypełnieniem	bez wypełnienia	z wypełnieniem	bez wypełnienia	z wypełnieniem	bez wypełnienia	z wypełnieniem
O ₂ N ₂	670	773	584	673	1569	1806	148	155
H ₂ O(para)+O ₂	700	805	599	689	1394	1601	135	141
O ₂ (30–62%)N ₂	747	861	624	739	1330	1531	122	125
CO ₂ +O ₂	776	893	706	813	1311	1509	139	145
CO ₂ +O ₂ +H ₂ O	760	874	726	837	1304	1501	131	138

5. EFEKTY EKONOMICZNE POZYSKIWANIA PRODUKTÓW ZGAZOWANIA WĘGLA W WYNIKU DOSZCZELNIANIA GÓROTWORU

Zgazowanie węgla w podziemnych gazowych generatorach z włączanym wypełnieniem pozwoli na obniżenie kosztów otrzymanego gazu o 33,6–45,1%, co wynika z możliwości powiększenia powierzchni zgazowywanego węgla 2,2 razy, stopnia zgazowania warstwy węglowej o 7% i zwiększenia kaloryczności gazu o 61%. Wyznaczone koszty produkcji gazu generatorowego z podziemnych generatorów gazu z włączanym wypełnieniem wynoszą 180–257 hrywien/1000 m³ gazu, zaś cena otrzymanej z tego gazu energii elektrycznej wynosi 0,09–0,26 hrywien/1 kWh, bez obliczenia przychodu ze sprzedaży surowców chemicznych i utylizowanego ciepła (tabl. 4).

Tablica 4. Koszty wyprodukowania 1000 kWh, przy zastosowaniu różnych węgla i gazu generatorowego, hrywny

Wskaźniki	Paliwo			
	Typ węgla	gaz		
		zgazowanie węgla		
		naziemne	podziemne, z przygotowaniem generatora gazu	
z powierzchni ziemi	w warunkach kopalnianych			
Nakłady inwestycyjne, w tym:	339,4	401,2	179,8	256,7
Wytwarzanie energii elektrycznej	61,4	28,5	17,5	21,4
Wydobycie paliwa	197,1	205,7	–	–
Wytwarzanie gazu	–	80,5	85,3	94,2
Wydatki eksploatacyjne	56,7	41,3	47,8	103,0
Wymienione wydatki	44,2	45,2	30,4	38,1
Relacje rozchodów %	100,0	117,2	53,0	60,3

Wydatki i koszty własne produktów wytworzonych z gazu oraz związków chemicznych, otrzymanych przy przeróbce termochemicznej warstwy węglowej, podano w tablicy 5.

Zbiorczy wskaźnik opłacalności inwestycji, przy stopie dyskonta 42%, kształtuje się w granicach od 1,5 do 2,2.

Tablica 5. Wydatki i koszty własne produktów wytworzonych w metodzie SPGW

Nazwa wskaźników	Jednostka miary	Wskaźnik			
		energetyka	przemysł chemiczny	paliwo	gospodarstwa domowe
Jednorazowe wydatki	tys. hrywn	3087	2796	1564	2770
Coroczne wydatki	tys. hrywn	457	341	237	316
Koszty własne wyprodukowanej energii elektrycznej	hrywny/kWh	0,09–0,11 0,14–0,21*	–	–	–
Koszty własne wydobytego paliwa	hrywny/kg	–	–	2,12	–
Koszty własne uzyskanego gazu generatorowego	hrywny/1000 m ³	–	148–172	–	245–275
Roczny efekt ekonomiczny	tys. hrywn	5954	3060	1809	2918
Okres zwrotu	lata	1,6–2,0	1,5	1,35	0,95

* Przy podziemnym zgazowaniu węgla w warunkach kopalnianych.

PODSUMOWANIE

Przewodność cieplna naruszonego górotworu, dookoła podziemnego generatora gazu, charakteryzuje się wpływem konwekcji w przekazywaniu ciepła i zależy od trzeciej potęgi współczynnika szczelinowatości skał, rozmiarów pęknięć i rozwarstwienia. Zastosowanie w konstrukcji podziemnego generatora gazu iniekcyjnego wypełnienia pozwala na zmniejszenie strat wydmuchu, gazów i kondensatu w podziemnej części od 4,5 do 17,8%, zmniejsza deformację powierzchni ziemi nad zgazowywaną przestrzenią podziemnego generatora do 76–81% w zależności od grubości warstwy węglowej. Takie zmiany w konstrukcji generatora gazu pozwalają na prowadzenie procesów zgazowania przy dużych naprężeniach od 0,8 do 5,4 MPa, bez przetrwania ciągłości masywu skalnego, przy małych i średnich głębokościach zalegania

zgazowywanych warstw węglowych (70–350 m), zapewniając przy tym sterowność procesu.

Udoskonalenie konstrukcji podziemnego generatora gazu pozwala na obniżenie kosztów własnych otrzymanego gazu o 45,8%, w porównaniu z istniejącymi konstrukcjami. Wynika to ze zwiększenia powierzchni zgazowywanego węgla o 2,2 raza, stopnia zgazowania węgla w granicach od 7 do 9,2% i podwyższenia kaloryczności uzyskiwanych gazów o 61%.

Wdrożenie zaproponowanej technologii pozwala na zwiększenie mobilności procesu podziemnego zgazowania przez: rozszerzenie strefy ogniowej, poprawę sterowności procesów, uzyskanie zwięzłości obszaru zgazowania, poprawę bezpieczeństwa procesu, zmniejszenie strat i uwzględnienie uwarunkowań ekologicznych. Umożliwi to prowadzenie procesu zgazowania warstwy węglowej przy wysokich napięzeniach i temperaturach, co zapewni wzrost jakościowych i ilościowych wskaźników procesu zgazowania. Spowoduje to również obniżenie kosztów własnych produkcji, to znaczy wydatków podstawowych, takich jak: wiercenie – o 8,6% i samego zgazowania – o 32% – w wyniku wykorzystania bardziej nowatorskich konstrukcji podziemnych generatorów gazu z iniekcyjnym wypełnieniem, a także zwiększenia powierzchni zgazowanego węgla w pojedynczym generatorze gazu.

Literatura

1. Bondarenko Volodymyr I., Buzyło Volodymyr I., Falshtynskiy Volodymyr S. (2007): Parameters of Injection Fill Above an Underground Gas Generator/Technical, Technological and Economic Aspects of Thin-Seams Coal Mining International Mining Forum 2007 – London – Leiden – New York – Philadelphia – Singapore, A.A. Balkema Publishers, s. 89–96.
2. Falsztinskij W.S., Diczkowski R.E. (2006): Rozrachunek parametrijw iniektuwanija porijdnoij towszij nad pijdzemnim gazogeneratorom. Zb. nauk. pr. NGU – D: RWK NGU T. 1, nr 26, s. 49–56.
3. Falsztinskij W.S., Diczkowski R.E., Tabaczenko N.M., Łapko W.W. (2007): Parametry rasprostranienija temperaturnogo polia w porodach, wmeszczajuszczich podzemnyj gazogenerator. Mater. I mijżnarod. nauk.-prak. konf. Szkoła pijdzemnoij razrabotki, D.: NGU, s. 225–232.
4. Sawostjanow A.W., Kloczkow W.G. (1992): Uprawlenie sostoianiem massiwa gornych porod. K. NMKWO.
5. Sawostjanow O.W., Falsztinskij W.S., Diczkowski R.E. (2007): Mechanizm powiedinki poridnoi towszij pri swerdlowinnij pidzemnij gazifikacji tonkich wugijlnich plastijw. Naukowij wijsnik NGU nr 9, s. 51–61.

Recenzent: dr hab. inż. Marian Turek, prof. Pol. Śl.