

Adaptacja metody bieżącej kontroli samozagrzewania węgla do warunków eksploatacji złóż donieckich

The adaptation of the method of current coal self-heating control in Donieck deposits



Prof. dr Viktor K. Kostenko^{*)}



Mgr inż. Jurij Gamij^{*)}

Treść: Z powodu wojny wydobywanie węgla na Ukrainie drastycznie spadło. Występowanie z kolei awarii podziemnych znacznie komplikuje prowadzenie robót górniczych, powodując utratę pokładów węgla przygotowanych do eksploatacji, wzrost kosztów wydobywania, a w końcu, zmniejszenie bezpieczeństwa energetycznego Ukrainy. Kopalnie nie są wyposażone w środki zapobiegania i wczesnego wykrywania pożarów powodowanych samozapaleniem węgla. W artykule proponuje się ulepszyć metodę bieżącej kontroli samozagrzewania węgla, wykorzystując monitoring gazów wskaźnikowych. Badania laboratoryjne i kopalniane potwierdziły, że wydzielanie gazów wskaźnikowych podczas mechanicznej destrukcji pokładów węgla może mieć istotny wpływ na wyniki bieżącego monitorowania procesu samozagrzewania węgla. Przedstawiono adaptację metody bieżącej kontroli samozagrzewania węgla do rzeczywistych warunków górniczo-geologicznych i górniczo-technicznych jego wybierania w polach eksploatacyjnych polegającą na uwzględnieniu efektów mechanicznej destrukcji pokładów i stosowaniu elastycznego schematu pobierania prób gazowych.

Abstract: Due to the war, coal mining in Ukraine dropped drastically. Occurrence of underground accidents considerably complicates the mining works, causing the loss of coal seams prepared for exploitation, causing the increase of mining costs, and finally, reducing the energy security of Ukraine. Mines are not equipped with means of preventing and early detection of fires caused by spontaneous combustion of coal. The article proposes to improve the method of current coal self-heating control using indicator gas monitoring. Laboratory and mine tests confirmed that the emission of indicator gases during the mechanical destruction of coal seams can have a significant impact on the results of the current monitoring of the coal self-heating process. In the article it is presented the adaptation of the current method of self-heating control of coal to the actual mining - geological and mining - technical conditions of its selection in exploitation fields consisting in taking into account the effects of mechanical destruction of seams and the application of a flexible gas sampling scheme.

Słowa kluczowe:

samozagrzewanie węgla, gazy wskaźnikowe, mechaniczna i termiczna destrukcja, próby gazowe

Keywords:

coal self-heating, indicator gases, mechanical and thermal destruction, gas tests

1. Wprowadzenie

Według danych Ministerstwa Energetyki i Przemysłu Węglowego wydobywanie węgla kamiennego na Ukrainie zmniejszyło się z powodu działań wojennych w Donbasie z 65 mln Mg w 2014 r. do 39,7 mln Mg w 2015 r. Około 25% węgla wydobywają przedsiębiorstwa państwowe, a 75% prywatne (dzierżawione lub przekazane w koncesję), chociaż udział tych ostatnich wynosi tylko 40% ogólnej liczby kopalń. Z powodu wprowadzenia blokady dostaw węgla z obszarów

leżących poza strefą wpływu, znacznie pogorszyło się na Ukrainie zapewnienie własnej energii.

W warunkach niedoboru węgla powstające awarie podziemne znacznie komplikują prowadzenie robót górniczych, w tym m.in. prowadzą do utraty partii pokładów przygotowanych już do eksploatacji, powodują wzrost kosztów eksploatacji, a w końcu, zmniejszają bezpieczeństwo energetyczne państwa. Znaczne szkody powodują pożary endogeniczne powstające w wyniku samozapalenia węgla, które występują w trudno dostępnych miejscach, co utrudnia ich wykrycie we wczesnym etapie rozwoju, zwiększając znacząco czas ich lokalizacji i likwidacji. Z powodu braku informacji o miejscu ogniska pożaru znacznie zmniejsza się skuteczność

^{*)} Doniecki Narodowy Uniwersytet Techniczny, Pokrowsk, Ukraina

podawania środków tłumiących i gaszących ognie, w wyniku czego do gaszenia stosuje się głównie metodę izolacji m.in. poprzez odcięcie dopływu świeżego powietrza.

W ostatnich latach w kopalniach węgla kamiennego na Ukrainie zaistniało kilka pożarów podziemnych: 2015 r. – 2, 2016 r. – 3, 2017 r. – 5, 2018 r. – 6, co stanowi 67% ogólnej liczby przypadków nagłych awarii. Skomplikowane przypadki pożarów spowodowały 70% strat w całości strat obliczonych dla wszystkich awarii podziemnych. Długość zaizolowanych wyrobisk z powodu pożarów wynosiła: 2015 r. – 15 533 m, 2016 r. – 22 067 m, 2017 r. – 22 084 m.

Sytuacja jest skomplikowana jeszcze z tego powodu, że laboratoria i sprzęt służące do prognozowania i kontroli procesów samozagrzewania węgla, pozostały na niekontrolowanym terenie Ukrainy. Kopalnie ukraińskie pozostały więc bez zabezpieczenia środkami profilaktyki i wykrywania samozapalenia się węgla we wczesnych stadiach jego rozwoju.

Z powodu braku bazy badawczej nie dokonuje się klasyfikacji pokładów do odpowiedniej kategorii skłonności do samozapalenia, na podstawie ich własności fizyko-chemicznych. Nie ma możliwości stosowania, szeroko wcześniej używanej, oceny temperatury węgla na podstawie mikrosteżeń węglowodorów nienasyconych – etylenu i acetylenu, w powietrzu odpływającym od ogniska samozagrzewania (Normative document, 1996, 2000). Nie są uzupełniane i precyzowane w terminie regulacje w zakresie zapobiegania i lokalizacji ognisk samozagrzewania węgla. Szczególnie dotkliwa jest kwestia zapewnienia nowoczesnych metod kontroli zagrożenia pożarowego w wyrobiskach oddziałów eksploatujących pokłady węgla skłonnego do samozapalenia.

2. Analiza obecnych badań

W celu bieżącej kontroli procesu samozagrzewania węgla ważne jest wykrywanie wczesnych faz jego samozagrzewania na podstawie monitoringu składu powietrza w wyrobiskach oddziału eksploatacyjnego. Podstawy naukowe monitoringu są znane i wynika z nich, że procesowi termodestrukcji nagrzewającego się węgla towarzyszy wydzielająca się do atmosfery kopalnianej szeroka gama produktów gazowych (Igishev 1987). Części z tych produktów nie ma w normalnym powietrzu kopalnianym, są mało podatne dla sorpcji na węglu i skałach, słabo rozpuszczalne w wodzie i dlatego mogą służyć jako wskaźniki (indykatory) procesu samozagrzewania węgla. Najbardziej informacyjnymi gazami wskaźnikowymi (GW) charakteryzującymi rozwój procesu samozagrzewania węgla są: tlenek węgla (CO) i wodór (H₂) oraz ich wzajemny stosunek w powietrzu.

Niestety, będące w dyspozycji górników środki techniczne nie zapewniają dostatecznej dokładności pomiarów małych, mniej niż 1-2%, steżeń wodoru w powietrzu kopalnianym, bo dokładność pomiaru przekracza czasami $\pm 25-30\%$. W związku z tym przed wojną stosowano ocenę temperatury próbek węgla w warunkach laboratoryjnych, wykorzystując steżenia powstających węglowodorów nienasyconych w próbkach powietrza (Normative document 2000).

Rozwojem metod wykrywania pożarów endogenicznych wykorzystujących dynamikę wskaźników gazowych zajmuje się wiele ośrodków naukowych UE, USA, Chin i innych krajów (Cliff i in. 2000, Adamus i in. 2003, Cygankiewicz 2005, Żyła i in. 2013, Trenczek 2017). Szczegółową ocenę stadiów rozwoju ogniska samozagrzewania węgla ze względu na dynamikę GW, obowiązującą w polskich przepisach, przytacza S. Trenczek (2017). W polskich przepisach na podstawie ilości wydzielającego się tlenu węgla w kontrolowanym rejonie (V_{CO} , l/min), przyrostu jego steżenia (ΔCO /%) określone są

trzy podstawowe etapy rozwoju procesu samozagrzewania się węgla. Pierwszy, gdy $0 < V_{CO} \leq 10$ i $0 < \Delta CO \leq 0,0026$, świadczy o powstaniu zagrożenia samozagrzewaniem się węgla i konieczności wzmożenia obserwacji w kontrolowanym rejonie i zwiększenia częstości pomiarów CO w składzie powietrza. Drugi etap, gdy $10 < V_{CO} \leq 25$ i $\Delta CO \leq 0,0026$, pozwala prowadzić prace wydobywcze przy równoczesnym prowadzeniu prac mających na celu likwidację lub ograniczenie zagrożenia. Ten etap świadczy o rozwoju procesu samozagrzewania, ale bez osiągnięcia temperatury krytycznej (Adamus i in. 2003, Trenczek 2017). Trzeci etap, gdy $\Delta CO > 0,0026$ lub $V_{CO} > 25$, wymaga rozpoczęcia akcji przeciwpożarowej.

W obecnie stosowanych metodykach bieżącej kontroli samozagrzewania węgla nie są uwzględniane, naszym zdaniem, zakłócenia uwarunkowane wydzielaniem gazów wskaźnikowych (GW) w czasie mechanicznego rozpadu węgla powodowanym maszynami górnictwymi i ciśnieniem górotworu, zmiennością natężenia przepływu prądów powietrza i innymi przyczynami, które wpływają na zmianę tła wskaźników gazowych w powietrzu kopalnianym.

Na przykład, zmiana natężenia przepływu powietrza w wyrobiskach odbija się na wielkości ΔCO , co może prowadzić do błędnej oceny stopnia samozagrzewania węgla. Poza tym, zalecane schematy miejsc pobierania prób powietrza kopalnianego nie pozwalają skutecznie wyznaczyć miejsca powstania ogniska samozagrzewania węgla.

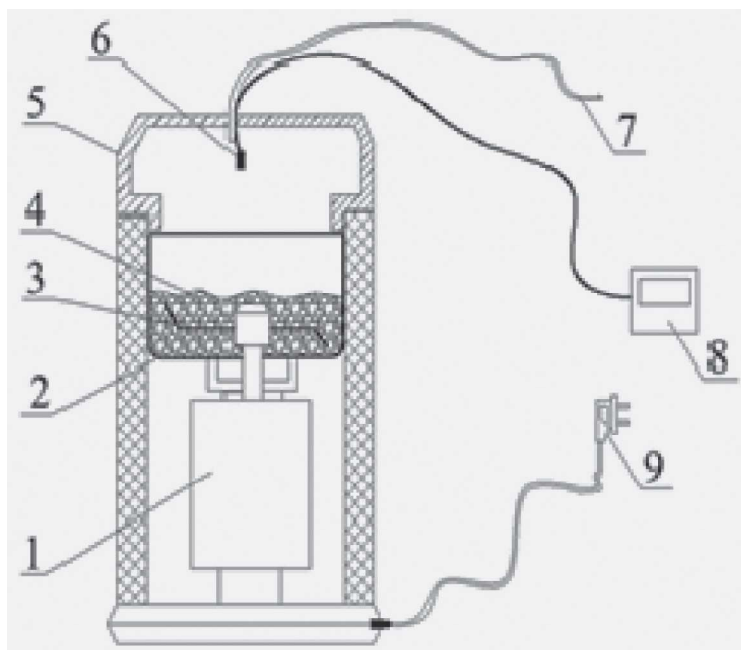
Celem przedstawionych w artykule badań było podwyższenie wiarygodności określenia wartości gazów wskaźnikowych, stanowiących tło oraz określenie miejsc powstawania ognisk samozagrzewania w wyrobiskach oddziałów wydobywczych w kopalniach Ukrainy.

3. Metodyka badań

Aby ocenić wpływ mechanicznego rozkruszenia węgla, za pomocą maszyn górnictwowych na zmianę wartości tła gazów wskaźnikowych, przeprowadzono badania laboratoryjne i kopalniane. W celu wyznaczenia miejsc samozagrzewania węgla wykorzystano wcześniejsze badania autorów nad powstawaniem pożarów endogenicznych w wyrobiskach górnictwowych. To pozwoliło uzasadnić miejsca pobierania prób powietrza kopalnianego.

Badania laboratoryjne przeprowadzono w następujący sposób. W przodku wybierkowym ze świeżo urobionej kombajnem masy węgla pobierano do plastikowych worków kilka kilogramów kęsów węgla. Worki przekazywano do laboratorium i nie później niż w ciągu doby węgiel wstępnie rozdrabniano i przesiewano na sitach laboratoryjnych, wydzielając frakcję 2-2,5 mm. Porcję węgla wsypywano do zasobnika laboratoryjnego urządzenia rozdrabniającego (rys. 1). Wcześniej usuwano powietrze z zasobnika do elastycznych pojemników, a także mierzono temperaturę węgla za pomocą opuszczonej do węgla termopary lub rtęciowego termometru kontaktowego. Próby powietrza pobierano do gumowych pojemników w celu późniejszej analizy za pomocą chromatografu gazowego „Kryształ 2000-M”. Pomiary udziału objętościowego domieszek gazowych w składzie powietrza pozwoliły wyznaczyć ilości gazów z następującym błędem $\pm 8\%$: CO₂ – 15, O₂ – 814, CH₄ – 913, CO – 1213, H₂ – 1225. Rozdrobnienie węgla następowało w ciągu 30 s. Potem powtórnie pobierano próby powietrza i mierzono temperaturę węgla.

Badania kopalniane przeprowadzano w następujący sposób. Przystudiowano dokumentację geologiczno-mierniczą i techniczną, analizując warunki zalegania pokładu, jego skłonność do wyrzutów i pożarów, rozmiar pola eksploatacyjnego i charakterystykę wyrobisk górnictwowych, obecność zabu-



Rys. 1. Schemat urządzenia dla otrzymania gazów, wydzielających się z rozdrabnianego węgla: 1 - silnik elektryczny; 2 - zasobnik; 3 - łopatki noża; 4 - węgiel; 5 - przykrywka; 6 - termopara; 7 - rurka dla pobierania prób; 8 - rejestrator temperatury; 9 - przewód zasilający

Fig. 1. Scheme of setting for obtaining gases, which are separated from ruined coal: 1 - electric motor; 2 - bunker; 3 - knife blades; 4 - coal; 5 - lid; 6 - thermopara; 7 - tube for the selection of tests; 8 - temperature recorder; 9 - feeding line

rzeń geologicznych, wykorzystywane rozwiązania techniczne, wydzielanie gazów, przewietrzanie i inne warunki w wyrobiskach. Miejsca pobierania prób powietrza ustalono względem przepływu prądów powietrza w następujący sposób. Pierwszy punkt pobierania prób ustalono w miejscu dopływu powietrza do oddziału wydobywczego w celu wyznaczenia tła stężeń gazów pochodzących z zewnątrz. Drugi w miejscu dopływu powietrza do ściany eksploatacyjnej, trzeci – w miejscu wypływu powietrza ze ściany, a czwarty punkt znajdował się w miejscu wypływu rejonowego prądu powietrza do wyrobiska z prądem grupowym powietrza odprowadzającego do szybu wydechowego.

Próby gazowe pobierano do pojemników elastycznych pompując do nich powietrze kopalniane pompką ręczną. Wstępnie do pojemników wtłaczano nie mniej niż jeden litr powietrza, które następnie w całości usuwano. Po napełnieniu pojemników mieszaniną gazową przeznaczoną do analizy szybkę pojemnika zamykano hermetycznie. Analizę składu kopalnianych mieszanin gazowych przeprowadzano za pomocą chromatografu gazowego „Kryształ 2000-M”, jak w badaniach laboratoryjnych.

4. Analiza badań laboratoryjnych

Zgodnie z przyjętą metodyką badań laboratoryjnych pobrano i przygotowano do badań próbki węgla z czterech pokładów różnych kopalń. Początkowe stężenie gazów w zasobniku przed rozdrabnianiem węgla były następujące; CO_2 – 0,0%, O_2 – 21,0%, CH_4 – 0,0%, CO – 0,0%, H_2 – 0,0%, a temperatura węgla wynosiła 14,2°C. Po rozdrobnieniu w przeciągu 30 s zmieniły się temperatura i skład gazów w zasobniku, a ich wyniki przedstawia tabela 1.

Niewielki wzrost temperatury węgla o 12-18°C w ciągu krótkiego okresu czasu świadczy o przewadze mechanicznego zniszczenia struktury węgla nad cieplnym. Wydzielanie się gazów można więc uznać jako skutek otwarcia mikrokomórek z gazami, a także siłowego (mechanicznego) zniszczenia mikromolekuł węgla z tworzeniem aktywnych rodników i ich nagłych reakcji z tlenem. Wyniki analizy gazów wskazują, że objętościowa zawartość tlenu węgla w wydzielanych gazach wynosiła od 0,0012 do 0,0036%, a wodoru – od 0,0004 do 0,0028%. Dla większości próbek węgla spadek tlenu nie przekraczał 0,1-0,7%, co świadczy o znikomej roli procesów utleniania. Zmniejszenie zawartości O_2 prawie do 18% dla

Tabela 1. Temperatura i skład wydzielanych gazów po rozdrobnieniu próbki węgla

Table 1. The temperature and composition of gases, which separated when the coal was minced

Nr	Kopalnia, indeks pokładu i typ węgla *)	Temperatura, °C	Stężenie gazów, %				
			CO_2	O_2	CH_4	CO	H_2
1.	Pokrowskoje, d4, „K”	26,4	0,1	20,9	0,2	0,0012	0,0010
2.	Centralnaja, k5, „G, K”	31,8	0,2	20,3	0,5	0,0036	0,0004
3.	Kopitalnaja, 11, „G, Ż”	26,6	0,5	18,1	10,0	0,0012	0,0006
4.	Pionier, m24, „D, G”	26,8	0,2	20,5	0,2	0,0032	0,0028

*) D – 31 i 32, G – 33, K – 34 i 35, Ż – 35 i wyższe (red.)

próbki z kopalni „Kapitalnaja” z pokładu I₁ można wyjaśnić podwyższoną (do 10%) zawartością metanu, zastępującego tlen w mieszaninie gazów.

Tak więc, w warunkach laboratoryjnych potwierdzono eksperymentalnie hipotezę o wydzielaniu znacznej ilości gazów wskaźnikowych w procesie mechanicznej destrukcji donieckich węgla kamiennych z wczesnej i średniej fazy metamorfizmu. To pozwoliło wyciągnąć wniosek, że w czasie eksploatacji tych pokładów wydzielanie gazów wskaźnikowych odbywa się w rezultacie dwóch równoległe przebiegających procesów – termicznej i mechanicznej destrukcji. Pierwszy, jak udowodniono licznymi badaniami, rozpoczyna się przy niskotemperaturowym utlenianiu rozdrobnionego węgla z towarzyszącym wydzielaniem ciepła. Drugi przebiega z nieznacznym nagrzewaniem, głównie w czasie destrukcji pokładu węgla maszynami górniczymi.

Bieżąca kontrola samozagrzewania węgla w wyrobiskach górniczych oparta jest na teoretycznych przesłankach o obecności tylko jednego rodzaju destrukcji węgla – termicznej. Występowanie drugiego rodzaju destrukcji jest zakłóceniem i może powodować zafałszowanie danych o zaistniałym samozagrzewaniu węgla lub powodować przedwczesne wstrzymanie prac po ochłodzeniu ogniska samozagrzewania.

5. Analiza badań kopalnianych

Dla oceny występowania produktów destrukcji mechanicznej w wyrobiskach górniczych przeprowadzono obserwacje w warunkach kopalnianych. Poszukiwano związku między intensywnością prowadzonego wydobycia a wydzielaniem gazu wskaźnikowego CO. W kopalni „Pokrowskoje” ściana 14 południowa w bloku 10 jest usytuowana w południowo-wschodniej części kopalni. Miąższość pokładu zmienia się w granicach od 1,25 m do 1,75 m, średnio w ścianie 1,47 m. Typ węgla „K”, czyli koksowy. Pokład jest lekko nachylony z kątem upadu 3-4°. Szereg zaburzeń tektonicznych, spękań i wymię pokładu wypełnionych jest mułowcami i piaskowcami. Wszystkie strefy zaburzeń geologicznych charakteryzują się wysokim stopniem zeszcelinowania i niestabilnością wypełniających je skał oraz podwyższoną metanonością. Krok okresowego, wysokiego zawalu stropu wynosi 10-15 m, a stropu bezpośredniego 1-2 m. Wybierany pokład d₄ nie

jest skłonny do samozapalenia, zagrożony jest natomiast wybuchem pyłu węglowego. Ściana znajduje się w części pola eksploatacyjnego zagrożonego nagłymi wyrzutami węgla i gazu. Maksymalny dopływ wody w polu wynosi 10 m³/h.

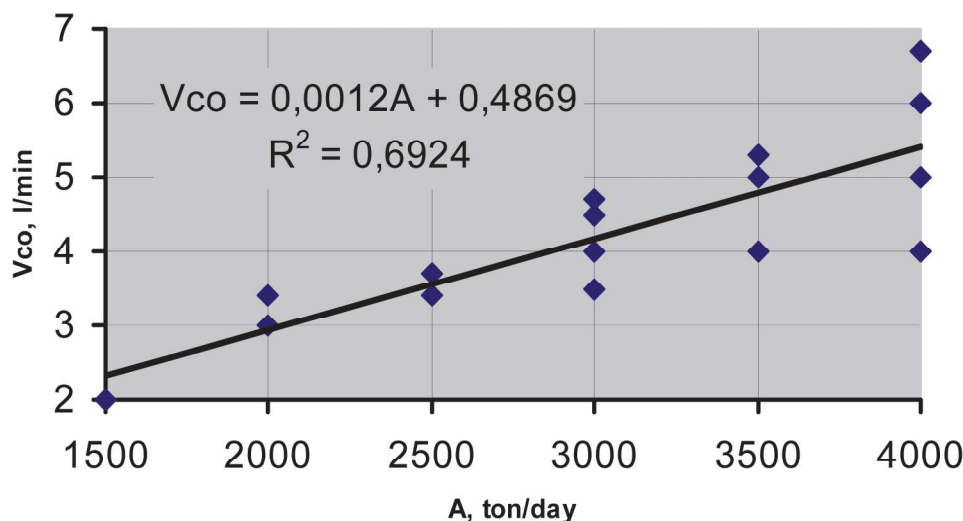
Metanoność pokładu, według danych uzyskanych z otworów wiertniczych, wynosi 8,816,3 m³CH₄/Mg c.s.w.. Potencjalnym źródłem niebezpiecznego wydzielania metanu jest pokład towarzyszący o miąższości 17,70-18,05 m. Wydzielanie metanu może również pochodzić z piaskowców zalegających w spągu i stropie pokładu, gdyż zawierają one 0,15-6,9 m³ metanu w 1 m³ skał.

Ściana przewietrzana jest sposobem „U” wzdłuż calizny węglowej obliczoną ilością powietrza wynoszącą Q_{obl} = 1569 m³/min, ale faktyczną Q_{fakt.} = 1814 m³/min. W celu dodatkowej walki z metanem wykorzystywano dwa równoległe pracujące rurociągi odmetanowania o średnicy 325 i 426 mm. Ze zrobów metan był odprowadzany również przewodem elastycznym za pomocą wentylatora typu WMCG-7M.

Pokład eksploatowano ścianami podłużnymi na zawał. Długość ściany 14 południowej wynosiła 290 m, a wybieg 1732 m. Wyposażenie ściany; obudowa IDT, przenośnik zgrzeblowy SP-202, kombajn JOY7LS200 i przenośnik odstawczy CZK-260/852. Minimalne pole przekroju poprzecznego ściany 3,6 m². Projektowane dobowe wydobycie wynosiło A = 5846 Mg/d, ale w okresie prowadzonej obserwacji zmieniło się i było nawet 9 razy mniejsze. W okresie obserwacji nie występowały żadne oznaki samozagrzewania się węgla.

Zgodnie z przyjętą metodyką obserwacji równocześnie z pobieraniem prób gazowych rejestrowano prędkość przesuwania się kombajnu JOY7LS200 wzdłuż ściany. Wartość tę przeliczano na wydobycie dobowe ściany i porównywano z ilością tlenu węgla V_{co} w pobranych próbach, a wynik przedstawia rys. 2.

Uzyskane wyniki wskazują na liniową zależność między wydzielaniem się tlenu węgla a wydobyciem dobowym węgla. Przy intensywnym urabianiu pokładu (A = 4000 Mg/d) może wytworzyć się do 6 l/min CO, który należy uwzględnić w prognozach samozagrzewania węgla. Jeśli porównać uzyskane wyniki z danymi zawartymi w tabelicy 1, to można przypuszczać, że przy intensywnym urabianiu w innych pokładach, na przykład k₅, czy, wydzielanie gazów wskaźnikowych może być jeszcze większe.



Rys. 2. Zależność wydzielania tlenu węgla (V_{co}, l/min) od wielkości wydobycia węgla (A, Mg/d) w ścianie 14 południowej pokładu d₄ w kopalni „Pokrowskoje”

Fig. 2. Dependence of carbon monoxide evolution (V_{co}, l/min) on the extraction (A, ton/day) of coal in the purifying slaughter of 14-th southern wall of the d₄ seam of the „Pokrowskaya” mine

Po zatrzymaniu urabiania węgla i odstawiania urobku poza oddział wydobywczy, zawartość tlenu węgla była na poziomie normalnego wydzielania. Ze względu na dostateczne przewietrzanie oddziału wskaźnik przyrostu tlenu węgla ΔCO nie przekraczał 0,0007%, a więc nie przekraczał przyjętej na Ukrainie normy 0,0017%.

6. Miejsca powstawania ognisk samozagrzewania węgla

Jeszcze jednym problemem, związanym ze stosowaniem obecnych metod bieżącej prognozy samozagrzewania węgla na podstawie gazów wskaźnikowych (GW), jest brak możliwości szybkiego ustalenia miejsca powstania ogniska samozagrzewania w granicach pola eksploatacyjnego. W celu jego rozwiązania przeprowadzono już wcześniej analizy formowania się pożarów endogenicznych w oddziałach wydobywczych kopalń węgla Ukrainy (Kostenko i in. 2016). Ogniska samozagrzewania w zdecydowanej większości wypadków powstawały, w tak zwanych, strefach niebezpiecznych pożarowo, w których występuje węgiel rozdrobniony siłami tektonicznymi lub maszynami górniczymi, i gdzie jest on poddany oddziaływaniu strumienia powietrza (rys. 3).

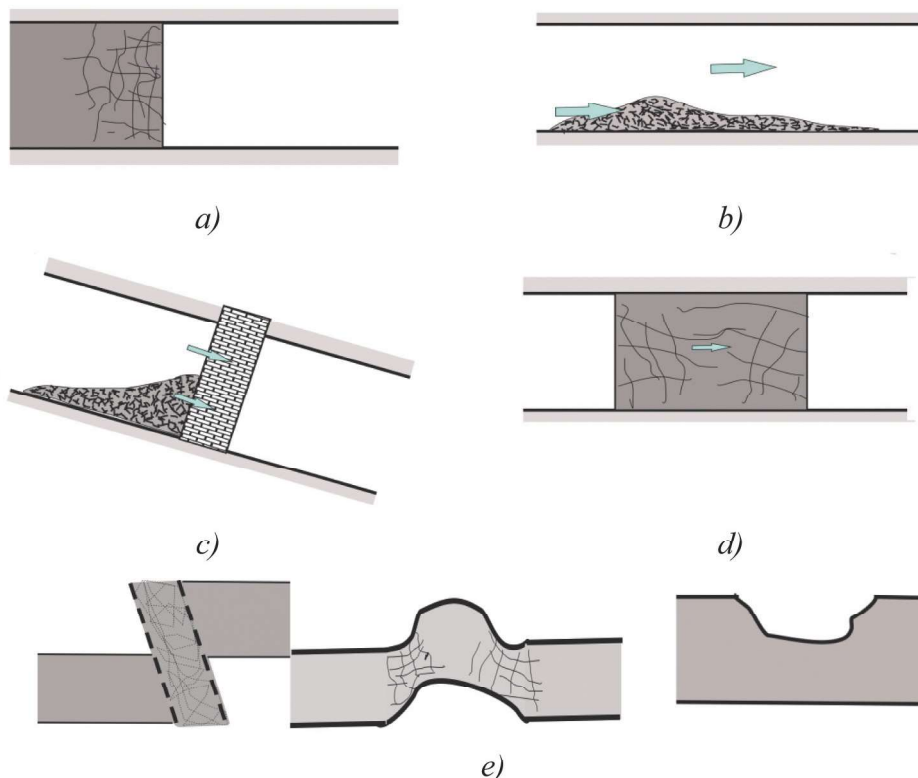
Bodźcami dopływu powietrza do pustek w strefach niebezpiecznych pożarowo są różnice potencjałów aerodynamicznych w rejonie wentylacyjnym, praca wentylatorów lokalnych, efekt tłokowy ruchu transportu szynowego i inne źródła wymuszenia przepływu powietrza. Okresowe zawały

stropu w zrobach także są źródłem okresowych pulsacji powietrza w wyrobiskach i w związanych z nimi szczelinach.

Przesłanki dla powstania stref zagrożonych pożarami istnieją na całym obwodzie zrobów, gdzie pozostawiono resztki węgla i odsłoniętą caliznę pokładu. Po ustaleniu się regularnych, cyklicznych zawałów stropu, dla powietrza jest dostępna ta część przestrzeni zrobów, która przylega bezpośrednio do ściany.

Przebieg opuszczania i zawałania się warstw stropu bezpośredniego i zasadniczego jest podobny jakościowo przy eksploatacji pokładów węgla, rozmieszczonych w górotworze o różnej strukturze i stopniu metamorfizmu samego węgla. Wiarygodność uzyskanych wyników obserwacji potwierdzają badania innych autorów krajowych i zagranicznych, zajmujących się zagadnieniami podwyższania stateczności wyrobisk górniczych (Kharchenko i in. 2014, Chambon 1966). Parametry tych procesów w znacznej mierze zależą od geologicznych i strukturalnych własności górotworu, takich jak liczba i miąższość warstw skalnych tworzących strop, ich własności fizyko-mechaniczne, anizotropia itp.

W przodku eksploatacyjnym następuje pęknięcie i rozdrabnianie krawędziowej części pokładu pod wpływem działania sił ciśnienia górotworu. Powstają w nim szczeliny zawierające rozdrobniony węgiel, co stwarza warunki oddziaływania na niego tlenu (rys. 3a). Na podstawie obserwacji kopalnianych i wyników modelowania szerokość spękanej części pokładu przyległej do przemieszczającej się ściany wynosi od 5 do 20 m.



Rys. 3. Najbardziej rozpowszechnione miejsca powstawania ognisk samogrzewania w polach eksploatacyjnych: a – zeszczerzowana krawędź pokładu; b – pozostawiony na spągu rozdrobniony węgiel; c – nagromadzenia przeniesionego rozdrobnionego węgla; d – zeszczerzowany filar węglowy; e – uskokowe, pofaldowane i sedymentacyjne zaburzenia geologiczne pokładu; strzałki – kierunek przepływu lub przenikania powietrza

Fig. 3. The most widespread places for the emergence of self-heating foci in the excavation fields: a – a distorted national part of the seam; b – the repulsed coal left on the ground; c – nanos of repaired carbon; d – distorted carbon pillar; e – flowing and sedimentary geological disturbances of the seam; arrows – the direction of the air movement

W czasie prowadzenia eksploatacji na spągu wyrobiska ścianowego może powstać znaczna ilość rozdrobnionego węgla, która znajdzie się następnie w zrobach (rys. 3b). Rozdrobniony węgiel może być czasem przenoszony wodą do innych miejsc, tworząc większe nagromadzenia (rys. 3c), w których również mogą powstawać ogniska samozagrzewania. W pozostawionych filarach technologicznych nasila się powstawanie szczelin, którymi może migrować powietrze, stwarzając warunki do rozwoju ognisk samozagrzewania (rys. 3d).

Zroby zawałowe oddalone od ściany są środowiskiem bloków skalnych z uporządkowaną strukturą, dlatego posiadają niski wskaźnik filtracji i są naturalną przeszkodą dla dostępu powietrza do pozostawionego w nich węgla. Zasięg zawału stropu zależy od budowy geologicznej górotworu, wytrzymałości skał stropowych i rozwinięcia robót wybierkowych w polu eksploatacyjnym. Zasięg ten może zmieniać się od 1-2 do 9 miąższości pokładu dla zawału bezpośredniego oraz do 20 miąższości pokładu, a czasem więcej dla zawału zasadniczego. Pod gruzowiskiem skalnym migracja gazów jest ograniczona, w związku z tym powstawanie ognisk samozagrzewania jest mało prawdopodobne.

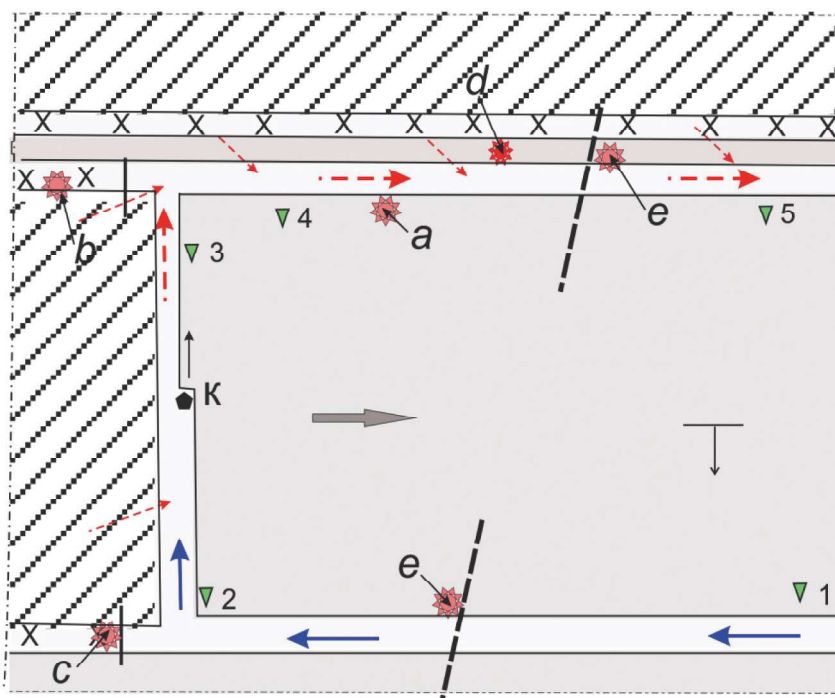
Wykorzystywanie dla ochrony wyrobisk obudowy niepodatnej (bloki z płyt żelbetonowych, pasy z zestalających się materiałów itp.) sprzyjają koncentracji naprężeń w stropie i spągu pokładu, rabowaniu się skał stropu, utrudniając wymianę gazów w pobliżu nagromadzeń węgla i, odpowiednio, skracając rozmiary przepuszczających powietrze pustek. Przy stosowaniu obudowy podatnej, masyw skalny opada w postaci pojedynczego stabilnego bloku, co sprzyja zwiększeniu rozmiarów stref pożarowych.

W strefach zaburzeń geologicznych pokłady węgla charakteryzują się podwyższoną szczelinowatością i obecnością

drobnych frakcji rozkruszonego węgla, co powoduje znaczną gazoprzepuszczalność tych stref (rys. 3e). Własności chemiczne substancji węglowej są w granicach pokładu praktycznie stałe. Wymiana gazowa w szczelinowatej warstwie górotworu uwarunkowana jest wahaniami potencjału aerodynamicznego w sieci wentylacyjnej. Przez to nawet znikome, na pierwszy rzut oka, zaburzenia geologiczne mogą grozić samozagrzewaniem i samozapalaniem się węgla (Kostenko, Zavyalova, 2009).

W procesie wybierania pola eksploatacyjnego te potencjalnie niebezpieczne miejsca zmieniają swoje położenie względem przodka wybierkowego, zmieniają się warunki przewietrzania wyrobisk. Wskutek tego następuje w nich aktywizacja procesów utleniania i zwiększa się zagrożenie samozagrzewaniem węgla. Wychodząc z przedstawionego mechanizmu powstawania ognisk samozapalenia węgla, prawdopodobne miejsca ich utworzenia należy zaznaczyć na mapach i schematach (rys. 4). Przy ścianowym systemie wybierania takie miejsca będą pojawiały się w czasie przesuwania się ściany i przodków przygotowawczych. Najpierw należy pobierać próby powietrza dopływającego do pola eksploatacyjnego i wyrobiska wybierkowego, a także odpływającego z wyrobiska wybierkowego oraz pola. Na rys. 4 te punkty oznaczono numerami odpowiednio 1 i 5 oraz 2 i 4. Dla zmniejszenia błędów, spowodowanego mechaniczną destrukcją węgla, celowym będzie pobieranie próby w wyrobisku wybierkowym z tyłu kombajnu zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza wentylacyjnego – punkt 3 i oddzielać otrzymane wyniki przy ocenie zagrożenia pożarem endogenicznym.

W przypadku wykrycia pierwszych objawów samozagrzewania proponuje się pobierać dodatkowe próby powietrza w punktach rozmieszczonych z tyłu potencjalnych niebezpiecz-



Rys. 4. Rozkład miejsc możliwego samozagrzewania węgla i punktów pobierania prób gazów wskaźnikowych na schemacie pola eksploatacyjnego: a, b, c, d, e - rodzaje miejsc (jak na rys. 3) i miejsca przewidywanych ognisk samozagrzewania węgla; K - kombajn; punkty pobierania prób gazów; strzałki: ciągłe – powietrze doprowadzane, strzałki: przerywane – powietrze odprowadzane, strzałki: cienkie – wypływ gazów ze zrobów

Fig. 4. Distribution of the places where coal can be heated up and the selection points for the indicator gases in the scheme for the excavation of the burrow plot: a, b, c, d, e - types (as in Fig. 3) and places predicting the self-heating of coal; K - shrearer; points for selecting gas samples; arrows: continuous - fresh stream of air, dotted - leaking, thin - gas intake from the area

nych miejsc zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza wentylacyjnego. W ten sposób, wykorzystując elastyczny schemat rozmieszczenia punktów pobierania prób gazowych, można we wczesnych stadiach wykrywać miejsca samozagrzewania węgla i przedsięwziąć właściwe działania profilaktyczne.

7. Wnioski

1. W sytuacji, która powstała w przemyśle węglowym Ukrainy racjonalnie jest przeprowadzać bieżącą kontrolę samozagrzewania węgla, wykorzystując gazy wskaźnikowe. Jednakże należy ją dostosować do warunków wybierania donieckich węgli.
2. Eksperymentalnie, w warunkach laboratoryjnych, ustalono, że przy mechanicznym oddziaływaniu na węgle różnych typów wydzielają się tlenek węgla, gaz wskaźnikowy, towarzyszący także procesowi samozagrzewania węgla. Przy rozdrabnianiu w czasie 30 sekund 200 gramów węgla frakcji 22,5 mm w próbach wykrywano od 0,0012 do 0,0036% CO.
3. W warunkach kopalnianych wykryto zwiększanie się stężenia tlenu węgla w wylotowym prądzie powietrza z wyrobiska eksploatacyjnego wraz ze wzrostem wydobywania węgla. Przy wydobywaniu 1500 Mg/d ilość powstającego CO wyniosła 2,2 l/min, a przy wydobywaniu 4000 Mg/d – 6 l/min. To może świadczyć błędnie o procesie samozagrzewania w nagromadzeniach rozdrobnionego węgla, znajdujących się w przewietrzanej przestrzeni wyrobiska eksploatacyjnego i przyległych zrobach.
4. Po wstrzymaniu wydobywania węgla wydzielanie gazu wskaźnikowego nie następowało. Dane te pozwoliły wyciągnąć wniosek o konieczności uwzględniania wpływu mechanicznego rozdrabniania węgla na poziom gazów wskaźnikowych. Wskazano, aby pobieranie prób powietrza, wykorzystywanych dla bieżącej kontroli procesu samozagrzewania węgla, następowało w okresie zatrzymanych prac przy urabianiu pokładu i transportu urobku, w wyrobiskach z powietrzem doprowadzanym do miejsca urabiania.
5. Na schemacie wyrobisk górniczych pola eksploatacyjnego należy zaznaczyć miejsca potencjalnie niebezpieczne ze względu na samozapalenie węgla i po pojawieniu się oznak jego samozagrzewania zmienić procedurę pobierania prób powietrza, dodając punkty z tyłu niebezpiecznych miejsc, biorąc pod uwagę kierunek przepływu prądu powietrza. To pozwoli sprawnie ustalić współrzędne źródła samozagrzewania w granicach pola eksploatacyjnego i wykorzystać środki do jego likwidacji.

Autorzy dziękują kierownictwu Państwowej Zmilitaryzowanej Służbie Ratownictwa Górniczego Ministerstwa Energetyki i Przemysłu Węglowego Ukrainy za pomoc w przeprowadzeniu badań laboratoryjnych i kopalnianych.

Literatura

- ADAMUS A., VORACEK V., HANAK Z. 2003 - Vyhodnoceni inertizace zavalu porubu 138202 dulnoho zavodu Lazy v Orlovevy // Uhli-rudy geologicky pruzkum, - p. 12-18.
- CHAMBON C. 1966 - Mecanique des terrains houillers. Dissertation. Nancy: -160 p.
- CLIFF, D., CLARKSON, F., DAVIS, R., BENNETT, T. 2000 - The implications of large scale tests for the detection and monitoring of spontaneous combustion in underground coal. 2000 Queensland Mining Industry Health and Safety Conference, 27–30 August, Queensland, Australia. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4508250/>
- CYGANKIEWICZ J. 2005 - Modelling the emissions of gases from self-heated coal deposit. Mine Ventilation Congress, Brisbane, Australia, 6-8 July.
- IGISHEV V. G. 1987 - The fight against spontaneous combustion of coal in mines. - M: Nedra, p-176 p.
- KHARCHENKO V.V., OVCHINNIKOV N.P. SULA V.I. GAIDAI A.A., RUSSKIKH V. V. 2014. - Processes of the sewage treatment works in seams of coal mines: a Textbook. - Dnepropetrovsk: GVUZ „NGU”, - 170 p. <http://ir.nmu.org.ua/xmlui/handle/123456789/146683>
- KOSTENKO V.K., ZAVYALOVA E.L. 2009 - The Prevention of coal self-heating in zones of geological disturbances. Coal of Ukraine.. № 7. - p. 22 - 24
- KOSTENKO V.K., ZAVYALOVA E.L., KOSTENKO T.V. 2016. - The processes of self-heating and ignition of coal in mines, Monograph under the General editorship of doctor of technical Sciences, Professor V. K. Kostenko/ «LAP LAMBERT» Academic Publishing-Saarbrücken: - 339 p.
- Normative document of Ukraine - KD 12.01.401-96, Endogenous fires at coal mines of Donbass. Warning and extinguishing, - Donetsk: NGO Respirator, 1997. -70 p.
- Normative document of Ukraine - KD 12.01.402-2000. Guidelines for the prevention and suppression of endogenous fires in coal mines of Ukraine. Shut. Ministry of energy of Ukraine 18.12.2000 NAC. No. 38. -216 p.
- TRENCZEK S. 2017 - Assessment of methane and spontaneous fire hazards level in the areas ventilated by refreshment of returned air in light of the applicable regulations. „Przeгляд Gorniczny”. No 10. - p. 21-28.
- ŻYŁA M., DUDZINSKA. A., CYGANKIEWICZ J. 2013 - The influence of disintegration of hard coal varieties of different metamorphism grade on the amount of sorbed ethane. Arch. Min. Sci., Vol. 58, No 2, - P. 449–463. https://www.researchgate.net/.../260727794_The_Influence

Artykuł wpłynął do redakcji – czerwiec 2019

Artykuł akceptowano do druku 14.08.2019