ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: ENERGETYKA z. 108 Nr kol. 1040

Józef FOLWARCZNY, Henryk GÓRNIAK
Józef SZYMCZYK, Ewald WYSTEMP

Instytut Techniki Cieplnej
Politechniki Śląskiej

WCZESNE WYKRYWANIE ZAGROŻENIA POŻAROWEGO W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. Możliwość wczesnego wykrywania zagrożenia pożarowego oparto na zależnościach zachodzących między samozagrzewaniem się węgla i składem chemicznym powietrza wentylacyjnego. Część powietrza wentylacyjnego wnika bowiem głęboko w szczeliny węgla, inicjuje i podtrzymuje tam procesy utleniania. Gazowe produkty tych procesów wypływają ze szczelin do wyrobisk i mieszają się z przepływającym powietrzem wentylacyjnym.

1. Wstęp

Z potocznego doświadczenia służb wentylacyjnych kopalń węgla kamiennego wiadomo, że na skład chemiczny powietrza wentylacyjnego omywającego wyrobiska podziemne wpływa głównie proces utleniania substancji węglowowodorowej. Procesy utleniania zachodzą na powierzchni pobocznicy wyrobiska, a zwłaszcza na powierzchniach tworzonych przez szczeliny pojawiające się w caliźnie węglowej.

Reakcje chemiczne utleniania przebiegają na ogół w układach, w których występują gradienty ciśnienia składnikowego i temperatury, wymuszające przepływ substancji i ciepła.

Proponowany sposób obserwacji stopnia zagrożenia pożarem w kopalniach węgla kamiennego (KWK) jest modyfikacją sposobu tradycyjnego, polegającego na wyciąganiu wniosków z wartości współczynnika respiracyjnego określanego wzorem

$$RQ = \frac{[CO_2]_w[N_2]_d - [CO_2]_d[N_2]_w}{[O_2]_d[N_2]_w - [O_2]_w[N_2]_d}, \tag{1.1}$$

w którym występują udziały molowe tlenu, dwutlenku węgla i azotu, zmierzone w strumieniu (suchego) powietrza wentylacyjnego na dolocie (indeks d) i na wylocie (indeks w) badanego obszaru wyrobisk górniczych. Powyższy

wzór spełnia założenie, że w obu strumieniach powietrza wentylacyjnego (dolotowym i wylotowym) występuje ta sama ilość azotu.

Istotą wspomnianej modyfikacji jest zastąpienie współczynnika RQ - dla kontrolowanego obszaru wyrobisk górniczych - wskaźnikami uzyskanymi z rozwiązania układu równań bilansu pierwiastków: węgla, wodoru, tlenu i azotu. Zakłada się przy tym, że siarka nie bierze udziału w reakcjach chemicznych w niskotemperaturowej fazie samozagrzewania się górotworu. Rozwiązanie układu równań bilansu wymienionych pierwiastków głównych realizować można w sposób proponowany w pracach [1] oraz [2].

2. Wielkości występujące w bezwymiarowych równaniach bilansu

2.1. Stosunek węgla

Każdy z ustalonych (w czasie) strumieni substratów dopływających do układu bilansowego lub produktów odpływających z tego układu charakteryzuje się bezwymiarową wielkością

$$x_k = \frac{\dot{m}_k c_k}{\dot{m}_1 c_1} \tag{2.1}$$

przedstawiającą stosunek ilości węgla pierwiastkowego zawartego w k-tym strumieniu (dla substratów k=i, dla produktów k=j) do ilości węgla C w strumieniu odniesienia, oznaczonym wskaźnikiem 1. Symbole $\dot{m}_k$ i $\dot{m}_1$ oznaczają odpowiednio: masę k-tego strumienia oraz masę strumienia odniesienia 1. Symbole c_k i c_1 oznaczają udziały gramowe węgla pierwiastkowego w k-tym i pierwszym reagencie. Jeżeli strumienie reagentów wyrażone są w (kilomolach na sekundę $\dot{n}_i$, $\dot{n}_j$), to wówczas stosunki węgla (x_i, x_j) określa się przy użyciu udziałów molowych ($z_{c,i}$, $z_{c,j}$) dotyczących poszczególnych strumieni. Dlatego równanie (2.1) można stosować w formie

$$x_k = \frac{\dot{m}_k c_k}{\dot{m}_1 c_1} = \frac{\dot{n}_k z_{c,k}}{\dot{m}_1 \frac{c_1}{12}} = \frac{\dot{n}_k z_{c,k}}{\dot{n}_1 z_{c,1}}. \tag{2.2}$$

Dla strumienia odniesienia (k=1), który może być obrany wśród substratów bądź produktów badanego procesu, stosunek węgla $x_1 = 1$. Dla strumieni nie zawierających węgla C stosunek x_k jest równy 0. Z praktycznych względów zamiast wskaźników liczbowych przy stosunkach x (lub przy innych wielkościach charakterystycznych) można posługiwać się wskaźnikami literowymi, jak to uczyniono w równaniu (1.1).

2.2. Pomocnicze wielkości jednostkowe, liczby Molliera i ich powiązanie

Zakłada się, że każdy ze strumieni substratów i produktów badanego procesu jest nośnikiem pierwiastków: węgla, wodoru, tlenu i azotu. Dlatego dla każdego strumienia (reagenta) oblicza się w sposób jednolity następujące pomocnicze wielkości, dotyczące jednostki danego czynnika (1 kilograma lub 1 kilomola).

2.2.1. Minimalne zapotrzebowanie tlenu

$$n_{O,min\ k} = (n_C)_k + \frac{1}{2}(n_{H_2})_k - (n_{O_2})_k = \frac{c_k}{12} + \frac{h_k}{4} - \frac{o_k}{32}. \tag{2.3}$$

W równaniu tym c, h, o są symbolami udziałów gramowych rozważanych pierwiastków palnych i tlenu, zaś n_C, n_{H_2}, n_{O_2} oznaczają sumy kmol tych pierwiastków w 1 kmol k-tego reagenta.

2.2.2. Jednostkowa ilość azotu

Wśród udziałów gramowych interesujących nas czynników termodynamicznych występuje też azot, oznaczany literą n. W przypadku czynników gazowych dogodnie posługiwać się udziałami molowymi. Jednostkową liczbę kilomoli azotu w danym strumieniu wyraża wzór

$$(n_{N_2})_k = \frac{n_k}{28} = z_{N_2,k}, \tag{2.4}$$

w którym w miejsce udziału molowego $z_{N_2,k}$ można posłużyć się udziałem objętościowym $r_{N_2,k}$.

2.2.3. Stopień zawilżenia powietrza wentylacyjnego, odpływającego z badanego układu

Molowy stopień zawilżenia X_z oznacza ilość /kilo/moli H_2O występującą w gazie wilgotnym obok jednego /kilo/mola gazu suchego. W niniejszych rozważaniach zakłada się, że nie ma wilgoci w dolotowym powietrzu wentylacyjnym, a w badanym układzie nie zachodzą zjawiska odparowania względnie kondensacji wody. Omawiany tu stopień zawilżenia $X_{z,w}$ powietrza wylotowego będzie więc miarą ilości wodoru złożowego, ulegającego utlenieniu.

2.2.4. Liczby Molliera i maksymalna zawartość CO_2 w spalinach suchych

Tak zwane liczby Molliera (G_k, ϑ_k) uzyskuje się dzieląc wyrażenia (2.3) oraz (2.4) przez jednostkową ilość węgla pierwiastkowego.

Zatem

$$\sigma_k = \frac{(n_{O,min})_k}{(n_C)_k}, \tag{2.5}$$

$$\vartheta_k = \frac{(n_{N_2})_k}{(n_C)_k}. \tag{2.6}$$

Liczby te decydują o wartości maksymalnej zawartości dwutlenku węgla w spalinach suchych

$$k_k = \frac{1}{a\sigma_k + \vartheta_k + 1}, \tag{2.7}$$

gdzie "a" oznacza stosunek molowy azotu i tlenu w czynniku termodynamicznym, będącym w danym procesie nośnikiem tlenu potrzebnego do realizacji reakcji spalania. Przyjęto, że

$$a = \frac{79}{21},$$

dzięki czemu obliczone wartości k_k mogą być porównywane z wartościami k_{max} dotyczącymi różnych paliw [3]. Warto zaznaczyć, że użycie w obliczeniach stosunku "a" dotyczącego dokładnego składu powietrza otoczenia lub dolotowego strumienia powietrza wentylacyjnego nie ma żadnego wpływu na wyniki bilansowania badanego układu, przedstawionego schematycznie na rys. 1.

Wielkość k_k, która z definicji dotyczy paliwa, jest obliczana także dla innych czynników, co umożliwia ogólne powiązanie równań bilansu głównych pierwiastków procesu spalania i innych procesów chemicznych.

3. Równania bilansu głównych pierwiastków procesu

Równania bilansu czterech głównych pierwiastków - dotyczące badanego układu - spełniają równanie ogólne w bezwymiarowej postaci

$$\frac{k_1 - K}{k_1} + \sum_{i=2}^{m} \frac{k_i - K}{k_i} x_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{k_j - K}{k_j} x_j. \tag{3.1}$$

W równaniu tym parametr K może przyjmować obraną wartość ze zbioru k_k, co powoduje zerowanie mnożnika przy stosunku węgla x_k. W najprostszym przypadku, gdy $m = 2$ oraz $n = 1$, przyjęcie $K = k_2$ - przy znanych

wartościach k_k - pozwala z równania (3.1) wyliczyć wartość stosunku x_1, zaś podstawienie $K = k_1$ pozwala wyliczyć wartość stosunku węgla x_2.

Łatwo zauważyć, że przyjęcie $K = 0$ prowadzi do bezwymiarowej postaci równania bilansu węgla pierwiastkowego

$$1 + \sum_{i=2}^{m} x_i = \sum_{j=1}^{n} x_j. \tag{3.2}$$

Równanie (3.1) opiera się na bilansie wcześniej wymienionych czterech głównych pierwiastków procesu, w tym na równaniu bilansu azotu, które można przedstawić w postaci

$$1 = \sum x_i \nu_i = \sum x_j \nu_j. \tag{3.3}$$

Z powyższego układu równań można wyznaczyć na ogół trzy niewiadome (mogą to być obrane stosunki x). Czwartą niewiadomą jest stopień zawilżenia $X_{z,w}$ powietrza wylotowego, występujący w równaniach bilansu wodoru i tlenu. W analizowanych przypdkach nie spotkano wodoru w strumieniu powietrza wentylacyjnego. Dlatego równanie bilansu wodoru w postaci zawężonej do rozważanego przypadku przedstawić można wzorem

$$X_{z,w} = 2X_{ch} \frac{1 - (1 + a)k_{ch}}{ak_{ch}} \frac{(n_C)_w}{x_w} = \frac{\dot{n}_{H_2,ch}}{\dot{n}_w}. \tag{3.4}$$

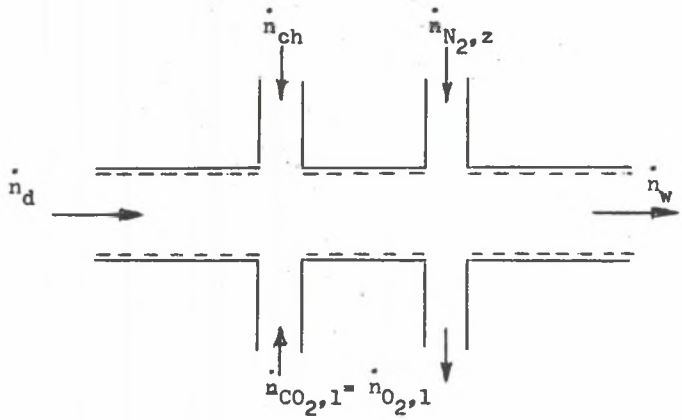
Jak zaznaczono w ostatnim równaniu, wylotowy stopień zawilżenia $X_{z,w}$ - w rozważanych warunkach - jest równy stosunkowi strumienia $\dot{n}_{H_2,ch}$ wodoru złożowego do strumienia $\dot{n}_w$ suchego powietrza wentylacyjnego u wylotu badanego wyrobiska górniczego.

Równanie bilansu tlenu pozwala określić stopień zawilżenia następującym równaniem

$$X_{z,w} = 2\left[\frac{(n_{O_2})_d}{(n_C)_d} \frac{(n_C)_w}{x_w} - (n_{O_2})_w\right], \tag{3.5}$$

które - jak i równanie poprzednie - dotyczy układu przedstawionego na rys. 1 i nie ma znaczenia ogólnego.

Podobnie jak w ostatnich równaniach, także w dalszej części opracowania używane będą wskaźniki literowe - zgodnie z oznaczeniami rys. 1 - sprzyjające czytelności przedłożonych wywodów.



Rys. 1. Schemat bilansowy badanego wyrobiska górniczego

- - - - aktywna powierzchnia wyrobiska, d - dolot, w - wylot, ch - utleniane pierwiastki chemiczne, z - złoże, l - liczebność załogi

Fig. 1. Balance diagram of the tested heading

- - - - active surface of the heading, d - inlet, w - outlet, ch - oxidized chemical elements, z - deposit, l - number of staff members

4. Zależności uzupełniające

Powtarzające się w równaniu (3.1) charakterystyczne wyrażenie bezwymiarowe można przedstawić w postaci

$$S_k = x_k \frac{k_k - K}{k_k} = x_k - K \frac{\dot{n}_k}{\dot{n}_1 (n_C)_1} \left\{ a \left[(n_C)_k + \frac{1}{2}(n_{H_2})_k - (n_{O_2})_k \right] + (n_{N_2})_k + (n_C)_k \right\} \tag{4.1}$$

dogodnej w przypadkach, gdy dany substrat lub produkt procesu nie zawiera węgla pierwiastkowego. W badanym układzie (rys. 1) dotyczy to azotu złożowego $n_{N_2,z}$ i tlenu $n_{O_2,l}$ zużywanego przez pracującą w układzie załogę.

W pierwszym przypadku szczególnym otrzymuje się

$$S_z = - K \frac{\dot{n}_{N_2,z}}{\dot{n}_d (n_C)_d} = - K \frac{Y}{(n_C)_d} = - KZ. \tag{4.1a}$$

W równaniu tym w miejsce wskaźnika 1 użyto litery d, dotyczącej dolotowego strumienia powietrza wentylacyjnego, który obrany został jako stru-

mień odniesienia. Nadto zastosowano symbol "Z" dla stosunku strumienia azotu złożowego do dolotowego strumienia węgla pierwiastkowego, a symbolem "Y" oznaczono stosunek strumienia azotu złożowego do dolotowego strumienia powietrza wentylacyjnego.

W drugim przypadku szczególnym z równania (4.1) wynika wzór

$$S_{O_2,1} = K\frac{a\dot{n}_{O_2,1}}{\dot{n}_d(n_C)_d} \tag{4.1b}$$

zawierający stosunek molowy tlenu zużywanego na oddychanie do węgla pierwiastkowego zawartego w dolotowym powietrzu wentylacyjnym. Widoczny w równaniu (4.1b) strumień tlenu jest równy strumieniowi dwutlenku węgla wydechanego przez załogę, co zaznaczono też na rys. 1.
Stąd równość stosunków

$$x_1 = \frac{\dot{n}_{CO_2,1}}{\dot{n}_d(n_C)_d} = \frac{\dot{n}_{O_2,1}}{\dot{n}_d(n_C)_d} \tag{4.2}$$

i różnica

$$S_{CO_2,1} - S_{O_2,1} = x_1\left[1 - (1 + a)K\right] \tag{4.3}$$

zastępująca dwa elementy równania (3.1).

Wartość stosunku węgla x_1 zależy od liczby "l" osób znajdujących się w badanym układzie, od strumienia powietrza wentylacyjnego $\dot{V}_d$ wyrażonego w m^3/min i od udziału molowego węgla pierwiastkowego w tym strumieniu. Stosunek węgla x_1 jest wielkością około 100 razy mniejszą od pozostałych stosunków węgla. Stąd i mały wpływ dokładności jego określenia na dokładność obliczeń. Przyjęto, że

$$x_1 = l\frac{1,8}{10^4\dot{V}_d(n_C)_d}, \tag{4.4}$$

co odpowiada 18 oddechom w minucie, wdychaniu jednorazowo około 0,5 dm^3 powietrza oraz 2% zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wydychanym.

5. Rozwiązanie układu równań bilansowych

Na rys. 1 zaznaczono strumienie substratów i produktów badanego układu. Znany jest strumień dolotowy n_d powietrza wentylacyjnego oraz skład chemiczny powietrza w przekroju dolotowym (d) i wylotowym (w) wyrobiska.

Dane te oraz liczba l osób przebywających w badanym układzie pozwalają obliczyć z równania (4.4) stosunek węgla x_1. Z układu równań bilansu - przy znanej (lub przyjętej) wartości stosunku Y azotu złożowego - można wyznaczyć stosunki x_w, $x_{z,w}$ związane z wylotowym strumieniem powietrza wentylacyjnego oraz stosunki x_{ch}, k_{ch} charakteryzujące ilość i jakość substancji węglowodorowej, utlenianej wewnątrz badanego układu.

Przyrównanie prawych stron równań (3.4) oraz (3.5) pozwala wyrazić stosunek x_{ch} zależnością

$$x_{ch} = \frac{ak_{ch}}{1 - (1 + a)k_{ch}}\left[\frac{(n_{O_2})_d}{(n_C)_d} - x_w \frac{(n_{O_2})_w}{(n_C)_w}\right], \tag{5.1}$$

którą wprowadza się następnie do równania (3.1) dla uzyskania jego zmodyfikowanej wersji, zawierającej już tylko dwie niewiadome k_{ch} oraz x_w. Równanie ogólne można więc zapisać w postaci

$$\frac{k_d - K}{k_d} + \frac{a}{1 - (1 + a)k_{ch}}\left[\frac{(n_{O_2})_d}{(n_C)_d} - x_w \frac{(n_{O_2})_w}{(n_C)_w}\right](k_{ch} - K) +$$

$$+ x_1\left[1 - (1 + a)K\right] - K\frac{Y}{(n_C)_d} = x_w \frac{k_w - K}{k_w}. \tag{5.2}$$

Podstawiając w tym równaniu kolejno $K = k_{ch}$ oraz $K = k_w$ otrzymuje się dwa niezależne równania o dwóch niewiadomych

$$k_{ch} = \frac{x_w - (1 + x_1)}{\frac{x_w}{k_w} - \left[\frac{1}{k_d} + x_1(1 + a) + \frac{Y}{(n_C)_d}\right]}, \tag{5.3}$$

$$k_{ch} = \frac{\frac{k_w - k_d}{k_d} + k_w\left\{a\frac{(n_{O_2})_d}{(n_C)_d} - x_w\frac{(n_{O_2})_w}{(n_C)_w} + \frac{Y}{(n_C)_d}\right\}}{(1+a)\left\{\frac{k_w - k_d}{k_d} + k_w\left[\frac{Y}{(n_C)_d} - (1+a\ x_1\right] + x_1\right\} + a\left[\frac{(n_{O_2})_d}{(n_C)_d} - x_w\frac{(n_{O_2})_w}{(n_C)_w}\right]}. \tag{5.4}$$

Stąd

$$x_w = \Bigg\langle\Bigg((1 + a)\left\{\frac{k_w - k_d}{k_d} + k_w\left[\frac{Y}{(n_C)_d} - (1 + a)x_1\right] + x_1\right\} +$$

$$+ a\frac{(n_{O_2})_d}{(n_C)_d}\Bigg)(1 + x_1) - \left[\frac{k_w - k_d}{k_d} + k_w\frac{a(n_{O_2})_d + Y}{(n_C)_d}\right]\left[\frac{Y}{(n_C)_d} + \frac{1}{k_d} +\right.$$

$$+ (1 + a)x_1\Big]\Big\rangle\Big((1 + a)\left\{\frac{k_w - k_d}{k_d} + k_w\left[\frac{Y}{(n_C)_d} - (1 + a)x_1\right] + x_1\right\} +$$

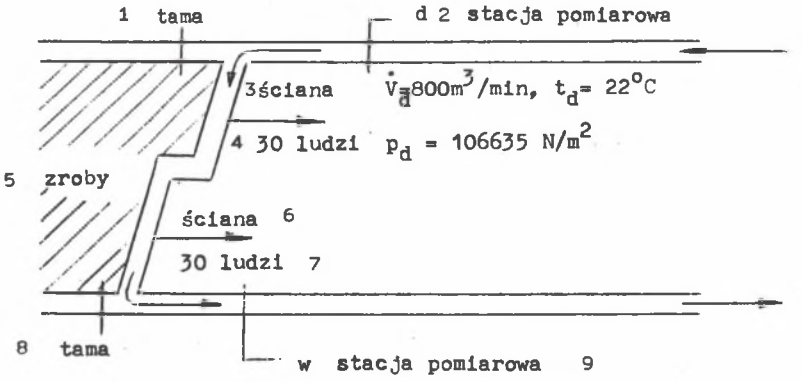
$$+ a\frac{(n_{O_2})_w}{(n_C)_w}\left\{1 + x_1 + k_w\left[\frac{Y}{(n_C)_d} + \frac{1}{k_d} + (1 + a)x_1\right]\right\} - \frac{Y}{(n_C)_d} -$$

$$- \frac{k_w - k_d}{k_d k_w}\Big)^{-1}. \qquad (5.5)$$

Rosnący z upływem czasu ciąg wartości x_w przy danej liczebności załogi świadczy o rozwoju procesów utleniania w przestrzeni bilansowej, natomiast malejący ciąg wartości x_w dowodzi zjawiska odwrotnego.

6. Przykład liczbowy

Dane liczbowe do przykładu wybrano z badań prowadzonych w kopalni A. W pokładzie 501 badano dwie ściany wentylowane szeregowo. Pokład 501 zaliczany jest do pierwszej kategorii zagrożenia tąpaniami i pierwszej kategorii zagrożenia metanowego. Dane liczbowe potrzebne do obliczeń zamieszczono na rys. 2 i w tablicy 1. Z danych zamieszczonych na rys. 2 wynika między innymi, że strumień powietrza wentylacyjnego wynosi n_d = = 0,5794 kmol/s. Zakłada się, że z pokładu nie wydziela się azot złożowy $n_{N_2,z} = 0$.



Rys. 2. Ściany wydobywcze przewietrzane szeregowo

1 - tama, 2 - stacja pomiarowa, 3 - ściana, 4 - 30 ludzi, 5 - zroby, 6 - ściana, 7 - 30 ludzi, 8 - tama, 9 - stacja pomiarowa

Fig. 2. Axially ventilated mining longwalls

1 - stopping, 2 - measuring station, 3 - longwall, 4 - 30 people, 5 - abandoned workings, 6 - Longwall, 7 - 30 people, 8 - stopping, 9 - measuring station

Tablica 1

Wyniki pomiarów składu chemicznego powietrza wentylacyjnego na stacji dolotowej "d" i wylotowej "w"

Stacja	Udziały molowe składników powietrza wentylacyjnego %				
	$[O_2]$	$[CO_2]$	$[CO]$	$[CH_4]$	$[N_2]$ uzupełnienie do 100
d	20,65	0,12	0,00	0,00	79,23
w	20,59	0,14	0,00	0,00	79,27

6.1. Obliczenia wartości pomocniczych

Skład chemiczny powietrza wentylacyjnego na dolocie i wylocie obserwowanego wyrobiska określa się dwa razy w tygodniu.

Zastosowanie wzorów rozdziału 2 prowadzi do wartości liczbowych:

$\vartheta_d = 660{,}25$, $\vartheta_w = 566{,}21$ kmol N_2/kmol C,

$G_d = -172{,}08$, $G_w = -147{,}07$ kmol O_2/kmol C,

$k_d = 7{,}20 \cdot 10^{-2}$, $k_w = 7{,}17 \cdot 10^{-2}$.

Z podanej na wstępie wartości strumienia powietrza wentylacyjnego n_d oraz jego składu chemicznego objętościowego wynika dolotowa wartość strumienia pierwiastka węgla

$$(\dot{n}_C)_d = ([CO_2]_d + [CO]_d + [CH_4])_d \, \dot{n}_d = 0{,}0007 \text{ kmol C/s}.$$

Stosunek węgla wydychanego przez załogę oblicza się ze wzoru (4.4)

$$x_1 = 60 \cdot \frac{1{,}8}{10^4 \cdot 800 \cdot 0{,}0007} = 0{,}0194.$$

Powyższe dane znajdą zastosowanie w dalszych obliczeniach przykładowych.

6.2. Stosunki węgla x_w, x_{ch}, parametr utlenionego paliwa złożowego k_{ch} oraz współczynnik respiracyjny RQ

Ze wzoru (5.5) dla $Y = 0$ oblicza się

$$x_w = 1{,}1673.$$

Stosunek węgla x_{ch} można obliczać z równania (5.1) lub - co w danym przypadku jest prostsze - z równania (3.3)

$$x_{ch} = x_w - x_1 - 1 = 1{,}1673 - 0{,}0194 - 1 = 0{,}1479.$$

Utleniane paliwo złożowe cechuje parametr

$$k_{ch} = 6{,}43.10^{-2}$$

obliczony z równania (5.3). Z równania (1.1) oblicza się

$$RQ = 0{,}2831$$

nazywany współczynnikiem respiracyjnym wyrobiska ograniczonego stacjami pomiarowymi.

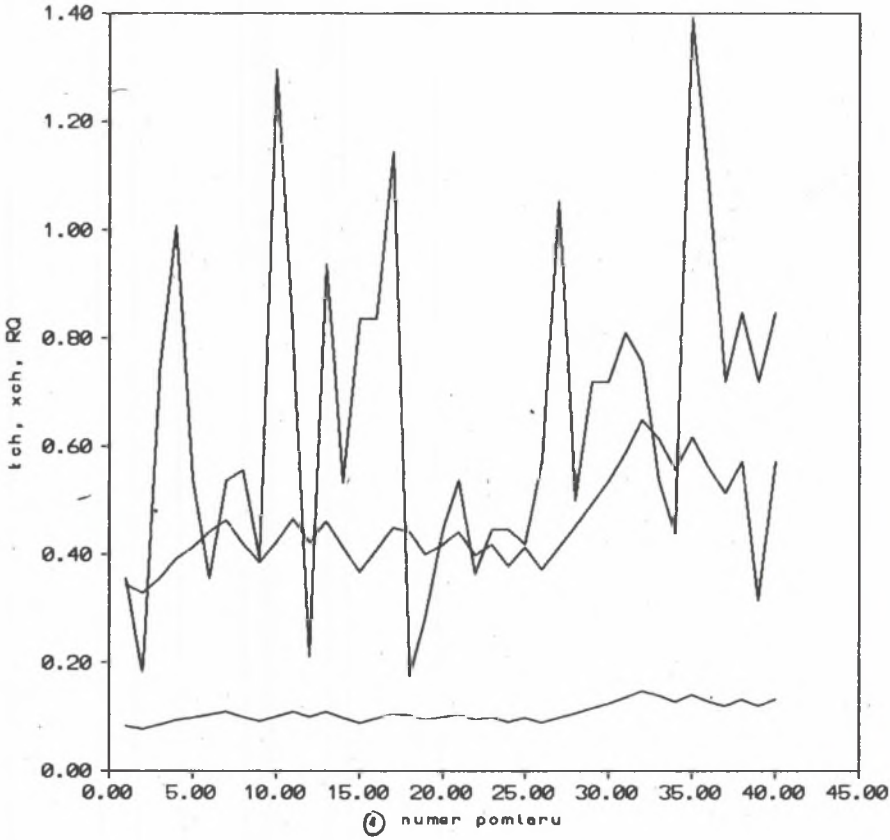
7. Komputerowe opracowanie wyników pomiarowych

Przeprowadzony w rozdziale 3 niniejszego opracowania bilans głównych pierwiastków procesu utleniania pozwala proces ten charakteryzować takimi wskaźnikami, jak: x_{ch} oraz k_{ch}. Opracowany został program obliczeniowy tych i innych wielkości charakterystycznych procesu. Wyznaczone w prosty sposób wartości RQ z równania (1.1) cechuje duży rozrzut wyników, co utrudnia ich interpretację. Dlatego w omawianym programie obliczeniowym zadbano o wygładzenie przebiegu wyników pomiarowych zakładając, że odchyłki kolejnych wartości RQ większe o 10% powodowane są błędami analizy składu powietrza. Na rys. 3 przedstawiono przebieg wartości współczynnika RQ a także przebieg współczynników x_{ch} oraz k_{ch} tej samej serii pomiarowej. Korygowanie wyników pomiarowych odbywa się z dnia na dzień (z pomiaru na pomiar).

8. Uwagi końcowe

Nową dwuparametrową (x_{ch}, k_{ch}) metodę wczesnego ostrzegania wyprowadzono z równań bilansowych pierwiastków chemicznych biorących udział w badanym procesie. Główny parametr x_{ch} tej metody świadczy o intensywności procesu utleniania węgla pierwiastkowego. Gdy wartości x_{ch} uporządkowane w czasie rosną, to zagrożenie pożarowe rośnie (i odwrotnie). Parametr k_{ch} związany jest ściśle ze składem chemicznym utlenianej substancji. Wszystkie wielkości potrzebne do stosowania nowej metody są na bieżąco mierzone przez służby wentylacyjne w kopalniach węgla kamiennego i nie ma potrzeby stosowania dodatkowej aparatury pomiarowej.

Z przeprowadzonych badań eksperymentalnych w kilku kopalniach wynika, że w początkowym okresie procesu samozagrzewania się węgla znaczącą rolę odgrywa utlenianie palnych składników gazu złożowego (w spękanym złożu węgla). W okresie poprzedzającym zapalenie się węgla w pokładzie parametr k_{ch} będzie stopniowo wzrastał aż do wartości około 0,188. Natomiast



Rys. 3. Przykładowe zależności parametrów
RQ - wykres górny, xch - wykres środkowy, kch - wykres dolny
Fig. 3. Exemplary dependences of parameters
RQ - top curve, xch - centre curve, kch - bottom curve

stosunek x_{ch} w miarę rozwoju zagrożenia pożarowego może przyjmować wartości większe od jedności.

Przy znanej wartości strumienia powietrza wentylacyjnego przedłożona tu metoda pozwala określić wartości strumienia utlenianego węgla pierwiastkowego i wodoru oraz związane z tym efekty egzotermiczne.

LITERATURA

[1] Folwarczny J.: Kontrola procesu spalania klinkieru cementowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Energetyka nr 8, Gliwice 1961.

[2] Folwarczny J.: Bilansowanie pierwiastków głównych procesu spalania oraz innych procesów chemicznych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Energetyka nr 634, Gliwice 1975.

[3] Kozłowski B., Grębski Z.: Odmetanawianie górotworu w kopalniach. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1982.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Stefan Postrzednik

Wpłynęło do redakcji 20 kwietnia 1989 r.

РАННЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ УГРОЗЫ В ШАХТАХ КАМЕННОГО УГЛЯ

Р е з ю м е

Возможность раннего обнаружения пожарной угрозы основано на зависимостях возникающих между самонагреванием угля и химическим составом вентиляционного воздуха. Часть вентиляционного воздуха проникает глубоко в угольные трещины, где начинает процессы окисления и поддерживает их. Газовые продукты этих процессов выходят из угольных трещин в горные выработки и смешиваются с потоком вентиляционного воздуха.

EARLY DETECTION OF THE FIRE HAZARD IN COAL-MINES

S u m m a r y

Possibility of early detection of the fire hazard has been based on the relations between self-warming of coal and chemical composition of ventilation air. Part of the ventilation air penetrates deeply into the coal fissures, begins there the oxidation processes and supports them. The gas products of these processes flows out from the coal fissures into the heading and mixes with the flowing ventilation air.