

Wykrywanie i prognozowanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego za pomocą systemów kontroli zawartości metanu

W artykule opisano cechy charakterystyczne procesów zmiany zawartości metanu w atmosferze kopalnianej, które mają miejsce podczas normalnych i intensywnych procesów wydzielania się gazu. Przedstawiono zasady klasyfikacji sytuacji gazowych występujących w wyrobiskach górniczych z punktu widzenia związanego z nimi zagrożenia. Zaproponowano algorytmy służące do wykrywania i prognozowania sytuacji zdarzeń gazowych, pozwalające rozszerzyć funkcjonalność i zwiększyć skuteczność środków technicznych stosowanych w kopalniach węgla do kontroli zawartości metanu.

1. WPROWADZENIE

Występowanie metanu w atmosferze kopalnianej powoduje znaczące utrudnienia podczas wydobywania węgla metodami górniczymi. Związane jest to z wysokim prawdopodobieństwem wystąpienia w wyrobiskach górniczych kopalń węgla wybuchowej i niebezpiecznej ze względu na ryzyko uduszenia mieszaniny metanu i powietrza.

Należy zaznaczyć, że stosowane w kopalniach ukraińskich współczesne metody wentylacji i systemy odmetanowania pozwalają w istotnym stopniu obniżyć poziom zawartości metanu w rejonach wydobywczych. Nie jest jednak możliwe całkowite wykluczenie wystąpienia zagrożenia metanowego. Z tego powodu duże znaczenie dla zapobiegania przekroczeń stężenia metanu ponad dopuszczalne wartości mają systemy jego kontroli.

W ostatnich latach osiągnięto znaczące sukcesy w obszarze kontroli stężenia metanu, co ma związek z wdrażaniem nowoczesnej aparatury pomiarowej [1]. Analiza wypadków związanych z zagrożeniem metanowym zachodzących w kopalniach węgla dowodzi jednak, że konieczne jest dalsze doskonalenie urządzeń służących do pomiaru metanu.

Celem niniejszej publikacji jest wskazanie ogólnych wniosków sformułowanych na podstawie wyników badań, które miały na celu podwyższenie skuteczności algorytmów pracy systemów wykorzystywanych do kontroli zawartości metanu w atmosferze kopalnianej.

2. CHARAKTERYSTYKA WYSTĘPOWANIA METANU W ATMOSFERZE KOPALNIANEJ

Procesy zmiany zawartości metanu w atmosferze wyrobisk kopalń Ukrainy można podzielić na dwa typy: zwyczajne, dotyczące specyfiki wydobywania węgla, i nadzwyczajne, wynikające z występowania zjawisk gazodynamicznych i innych anomalii [2]. Te drugie charakteryzują się gwałtownością przebiegu, krótkotrwałością występowania i, w większości przypadków, znaczącymi stężeniami zawartości metanu. Na tym właśnie polega niebezpieczeństwo z nimi związane.

Ze zrozumiałych przyczyn urządzenia metanometryczne mające zastosowanie w tych warunkach powinny w odpowiedni sposób reagować zarówno na zwyczajne, jak i nadzwyczajne procesy. W celu ustalenia odpowiedniego sposobu postępowania niezbędne

na jest pełna informacja na temat zjawisk związanych z pomiarem zawartości metanu.

Analiza literatury przedmiotu wskazuje na to, że zwyczajne procesy wydzielania się metanu zostały zbadane już w dostatecznym stopniu i można w ich przypadku z powodzeniem stosować aparat matematyczny opisujący procesy incydentalne [3]. Procesy nadzwyczajne nie tylko nie są opisane za pomocą konkretnych uogólniających modeli matematycznych, ale i nie wyodrębniono dla nich parametrów jakościowych, pozwalających na ich wizualizację. Wynika to z braku instrumentów koniecznych do uzyskania ciągłej informacji w całym zakresie możliwych zawartości metanu.

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE ZJAWISK GAZODYNAMICZNYCH

Przeprowadzone w Instytucie MakNII (Ukraina) prace badawcze pozwoliły na wyeliminowanie tego braku. Prowadzono je na zbudowanym specjalnym kompleksie pomiarowym służącym do rejestracji procesów zmiany zawartości metanu o gwałtownym przebiegu. Przeprowadzono eksperymenty w warunkach odpowiadających warunkom kopalnianym i uzyskano niezbędne informacje na temat prawidłowości przebiegu badanych procesów.

Na podstawie wyników badań uzyskanych w czasie prowadzonych eksperymentów opracowano model informatyczny procesów zmiany zawartości metanu $C(t)$ w wyrobiskach górniczych, opisany równaniem:

$$C(t) = C_0(t) + X(t) + Y(t), \quad (1)$$

gdzie:

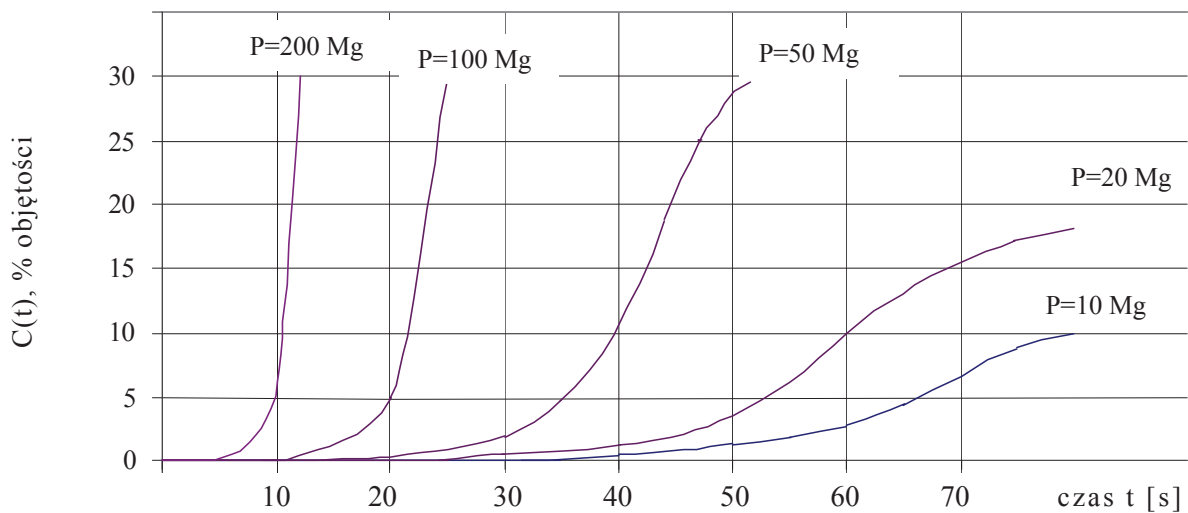
$C_0(t)$ – czynnik zmieniający się powoli, % objętości,
 $X(t)$ – czynnik charakteryzujący intensywność procesu zmian zawartości metanu (trend procesu), % objętości,

$Y(t)$ – proces incydentalny, charakteryzujący odchylenie zawartości metanu od trendu (fluktuacja), % objętości.

Rozkład procesu $C(t)$ na oddzielne czynniki pozwala na oddzielne ich badanie.

Czynnik $C_0(t)$ w odcinkach czasu skorelowanych z inercyjnością środków kontroli metanu (dziesiątki sekund) praktycznie nie podlega zmianom. W związku z tym można go traktować jako wielkość stałą. Przy prawidłowo obliczonych parametrach wentylacji bezwzględna wartość $C_0(t)$ znajduje się na poziomie kilku procent objętości.

Czynnik $X(t)$ zawiera informację na temat dynamiki procesu. W odniesieniu do wyrobisk przygotowawczych składowa ta może charakteryzować się przebiegiem zilustrowanym na rys. 1.



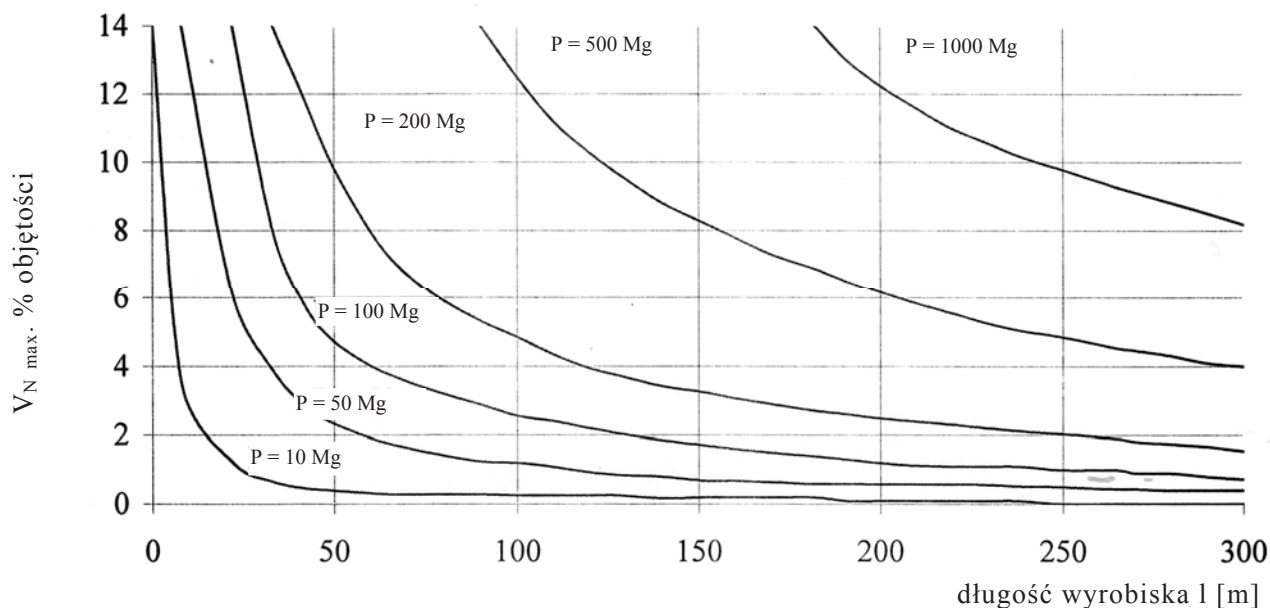
P – ilość wyrzuconego do wyrobiska węgla podczas zjawiska gazodynamicznego, Mg

Rys. 1. Dynamika trendów procesów zmian zawartości metanu w odległości 30 m od przodka robót przygotowawczych [3]

Analiza przebiegu zmian (rys. 1) pokazuje, że wraz ze wzrostem ilości wyrzuconego do wyrobiska węgla w wyniku zjawiska gazodynamicznego rosną wartości pochodnych, charakteryzujących intensywność procesu i, w pierwszej kolejności, zwiększa się prędkość narastania zawartości metanu.

W ramach eksperymentu ustalono, że przy włączeniu mechanizmów związanych z urabianiem maksymalna prędkość narastania zawartości metanu ($v_{N,max}$) nie przekracza 0,04% objętości CH_4 /sekundę. Roboty

strzałowe prowadzone metodą udarową, którym nie towarzyszą wyrzuty węgla czy gazu, skutkują prędkością do 0,2% objętości CH_4 /sekundę. Podczas zjawisk gazodynamicznych $v_{N,max} \geq 0,5\%$ objętości/sekundę. Oprócz tego maksymalna prędkość narastania zawartości metanu jest blisko skorelowana z ilością wyrzuconego do wyrobiska węgla i zależy od odległości (l) pomiędzy miejscem pojawienia się wyrzutu i punktem kontrolnym. W odniesieniu do wyrobisk przygotowawczych zjawisko to przedstawia rys. 2.



P – ilość wyrzuconego do wyrobiska węgla podczas zjawiska gazodynamicznego, Mg

Rys. 2. Pola maksymalnych prędkości narastania zawartości metanu w wyrobiskach przygotowawczych w zależności od ich wybiegu [4]

Czynnik $Y(t)$ jest składową $C(t)$ o dużej dynamice zmian i odwzorowuje fluktuację koncentracji metanu.

Pojawienie się fluktuacji jest całkowicie prawidłowe, a wynika z tego, że mieszanie się metanu wydzielającego się do wyrobiska górniczego z powietrzem nie zachodzi natychmiast. W sytuacji, kiedy istnieją turbulenty strugi powietrza, koncentracja metanu waha się w sposób chaotyczny w stosunku do swojej średniej wartości. W miarę oddalania się od strefy mieszania amplituda fluktuacji zmniejsza się, w spektrum wahań zaczynają przeważać niskoczęstotliwościowe składowe, które również stopniowo zanikają.

Fluktuacje koncentracji metanu można traktować jako stacjonarne incydentalne procesy charakteryzujące się normalnym rozkładem zagęszczenia prawdopodobieństwa odchylenia wartości koncentracji od wartości matematycznie oczekiwanej. Ze względu na sposób uzyskania informacji o zawartości metanu za

pomocą środków kontroli gazowej fluktuacje koncentracji są zakłóceniami, które powodują ograniczenie szybkości działania tych środków.

4. ALGORYTM DO OKREŚLANIA CHARAKTERU PROCESU WYDZIELANIA METANU

Analizując model informatyczny (1), wyniki badań dynamiki procesów zmian zawartości metanu, zachodzących podczas zwyczajnego i nadzwyczajnego wydzielania metanu, a także fluktuacji koncentracji metanu, można wyciągnąć w pełni uzasadniony wniosek, że bez uwzględnienia tych informacji nie sposób opracować skutecznych algorytmów pracy urządzeń metanometrycznych działających w ukraińskich kopalniach.

Wszystkie rodzaje wydzielania się metanu do atmosfery wyrobisk górniczych, zarówno zwyczajne, jak i nadzwyczajne, należy traktować jako procesy potencjalnie niebezpieczne, ponieważ nawet stosunkowo niewielkie ilości gazu przy niewystarczającym prze-

wietrzaniu wyrobisk mogą spowodować pojawienie się w strefach wyrobisk wysokich zawartości metanu.

Opisane procesy powodują powstanie w wyrobiskach górniczych określonej liczby sytuacji gazowych przedstawionych na rys. 3.



Rys. 3. Schemat klasyfikacji sytuacji gazowych dla mieszanek metanu z powietrzem [4]

W przypadku, gdy spełnione są odpowiednie wymogi (sprawne wyposażenie ściany, dostateczna ilość powietrza przepływającego przez wyrobisko górnicze itp.) i nie występuje nadzwyczajne wydzielanie gazów, procesy zmiany koncentracji metanu nie przekraczają dopuszczalnego maksymalnego poziomu. Sytuacja gazowa zachodząca w tych okolicznościach nie jest niebezpieczna.

Jeżeli podczas procesów technologicznych w czasie wydobywania węgla dojdzie do przekroczenia dopuszczalnego granicznego poziomu zawartości metanu, ale wartości koncentracji nie przekraczają dolnego przedziału wybuchowości, to taka sytuacja gazowa powinna być traktowana jako alarmowa. W przypadku alarmowej sytuacji gazowej, jeżeli nie występuje wydzielanie się gazów, możliwy jest powrót do sytuacji niegroźnej pod warunkiem zastosowania działań profilaktycznych w celu utrzymania ruchu. Do działań tych można zaliczyć zatrzymanie procesów wydobywania węgla, podanie dodatkowej ilości powietrza itp.

Awaryjna sytuacja gazowa powstaje praktycznie podczas wszystkich nadzwyczajnych wypadków wydzielania metanu i przy znaczących odchyleniach od wymaganych warunków podczas procesu wydobywania węgla. Charakteryzuje się ona co najmniej 5-procentowym stężeniem CH_4 i dzieli się na sytuacje:

z niebezpieczeństwem wybuchu, z atmosferą duszącą i z niebezpieczeństwem uduszenia. Ostatnie dwie sytuacje będziemy traktować jako sytuacje charakteryzujące się obniżonym poziomem tlenu w atmosferze wyrobisk kopalnianych. Podstawę przedstawionej klasyfikacji awaryjnych sytuacji gazowych może stanowić opisane niżej zjawisko.

5. CHARAKTERYSTYKA SYTUACJI GAZOWYCH I SPOSÓB POSTĘPOWANIA

Zawartość metanu w atmosferze wyrobisk górniczych w zakresie 5-15% objętości oznacza powstanie mieszaniny wybuchowej. Mieszanina zawierająca powyżej 15% objętości CH_4 nie wybuchą, jednak każde 5% objętości CH_4 zmniejsza zawartość tlenu o 1%. Obniżenie objętościowej zawartości tlenu w powietrzu z 21 do 16% nie ma dużego wpływu na organizm człowieka, przy zawartości tlenu w przedziale 12-16% utrudnione jest oddychanie, a także zauważalne jest pogorszenie koordynacji ruchowej, przy 10-12% zanika zdolność trzeźwego myślenia, poniżej 10% następuje utrata świadomości i śmierć.

Na podstawie powyższych kryteriów można przyjąć, że sytuacje gazowe związane z niebezpieczeń-

stwem wybuchu mają miejsce przy zawartości metanu w przedziale 5-15% objętości, natomiast sytuacje z atmosferą duszącą w przedziale 15-50% objętości CH_4 , a powyżej 50% mają miejsce sytuacje związane z ryzykiem uduszenia.

Konieczność kategoryzacji wartości koncentracji metanu w formie sytuacji gazowych wynika ze specyfiki ludzkiego myślenia. Uzyskawszy informację o konkretnej wartości koncentracji metanu, należy porównać ją z wartościami uzyskanymi wcześniej pod kątem poziomu niebezpieczeństwa związanego z tą właśnie wartością koncentracji. W drodze wnioskowania powstaje określony obraz, oznaczający tę lub inną sytuację gazową, odpowiadającą schematowi przedstawionemu na rys. 3.

Przejście od dużej liczby wartości liczbowych do łatwo przyswajalnych dla człowieka pojęć, których ilość ogranicza się do paru jednostek, pozwala w znaczącym stopniu polepszyć proces podejmowania decyzji. W drodze eksperymentu dowiedziono, że w grupie składającej się z 30 wykształconych osób w momencie uzyskania trzech wartości liczbowych 80% członków grupy jest w stanie poprawnie sformułować odpowiedni model postępowania (prowadzenie prac, przerwanie prac, wyjście z niebezpiecznej strefy, ochrona układu oddechowego i następnie wyjście z niebezpiecznej strefy) średnio w przeciągu 8 sekund. W przypadku uzyskania informacji o sytuacjach gazowych prawidłowy model postępowania sformułuje praktycznie 100% osób w czasie 1-1,5 s.

Jedno z rozwiązań poruszanego zagadnienia wynika bezpośrednio z analizowanego materiału i polega na automatycznym rozpoznawaniu sytuacji gazowych przedstawionych na rys. 3. Rozwiązanie to należy jednak traktować jako pierwszy krok w procesie doskonalenia urządzeń metanometrycznych działających w kopalniach węgla. Czasowa inercja reakcji, jaką posiadają systemy kontroli zawartości metanu oraz różnego rodzaju zakłócenia, włączając w to fluktuację koncentracji, sprawia, że analiza informacji wymaga upływu określonej ilości czasu. W wyniku tego, szczególnie w przypadku nadzwyczajnego wydzielania metanu, możliwe są opóźnienia w ich rozpoznaniu, co prowadzi do zmniejszenia ilości czasu pozostającego na podjęcie ściśle określonych środków służących zapewnieniu bezpieczeństwa.

Wyjście z tej sytuacji może stanowić podanie informacji na temat pojawienia się konkretnej sytuacji gazowej z wyprzedzeniem, tzn. nieco wcześniej, niż sytuacja ta nastąpi. W celu uzyskania takiej informacji należy umożliwić prognozowanie biegu wydarzeń przez środki kontroli zawartości metanu. Przez to rozumie się możliwość prognozowania sytuacji gazowych przez ww. środki.

Warto zauważyć, że prognozowanie nie wyklucza poprzedniego rozwiązania, związanego z wykryciem sytuacji gazowej w danej chwili. Konieczne jest kompleksowe rozwiązanie, dzięki któremu personel kopalni będzie dysponował informacjami o sytuacji gazowej w konkretnym momencie i analogicznymi informacjami dostępnymi z pewnym wyprzedzeniem. W tym przypadku personel ma możliwość trafniej określić charakter późniejszych zdarzeń. Fakt posiadania zapasu czasu podczas podejmowania ostatecznej decyzji pozwala na ograniczenie do minimum liczby błędnych działań, a obiektywna informacja o sytuacji gazowej rozszerza spektrum strategii działania.

6. PROGNOZOWANIE SYTUACJI GAZOWYCH

Na podstawie przedstawionego materiału i też sformułowanych w [4, 5, 6, 7] można określić strukturę leżącą u podstaw metod wykrywania i prognozowania sytuacji gazowych. Strukturę tą przedstawia rys. 4.

Uzyskanie informacji o procesie zmiany koncentracji metanu $C(t)$ stanowi jeden z istotnych etapów w omawianej strukturze. Na tym etapie należy zapewnić przekształcenie zawartości procentowej metanu w proporcjonalny sygnał elektryczny $U(t)$, zgodnie z następującym wyrażeniem:

$$[C(t) \Rightarrow U(t)], \text{ kiedy } \varepsilon_c \text{ i } \varepsilon_d \rightarrow 0, \quad (2)$$

gdzie:

ε_c i ε_d – odpowiednio statyczny i dynamiczny błąd przekształcenia.

Na etapie prognozowania wartości koncentracji metanu następuje analiza informacji uzyskanej w poprzednim etapie i zgodnie z określonym algorytmem dla momentu $t_0 + \theta$ określa się $\hat{U}(t_0 + \theta)$. Jednym z podstawowych kryteriów jest minimalizacja błędu prognozy $e(t_0 + \theta)$, która odbywa się zgodnie z poniższym wyrażeniem:

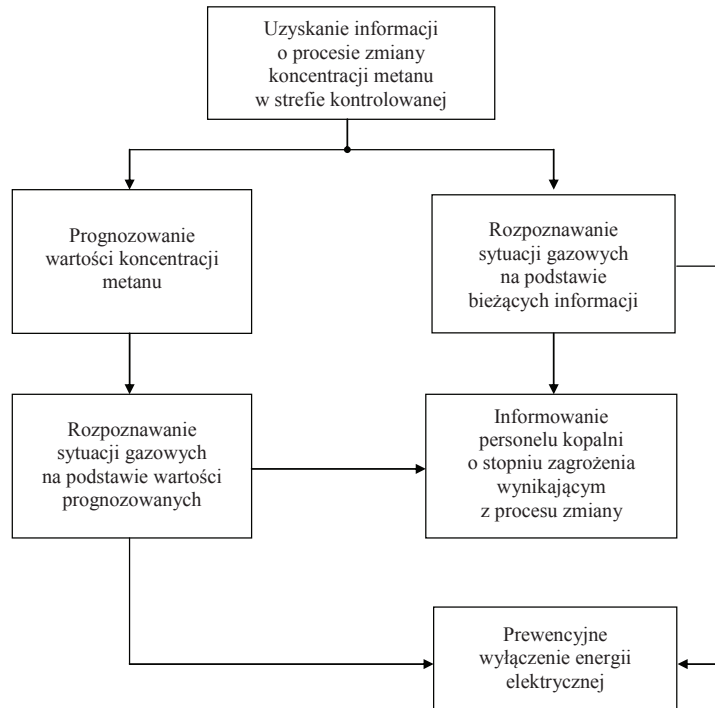
$$[e(t_0 + \theta)]_{\min} = [U(t_0 + \theta) - \hat{U}(t_0 + \theta)]_{\min}, \quad (3)$$

gdzie:

$U(t_0 + \theta)$ – rzeczywista wartość procesu,

$\hat{U}(t_0 + \theta)$ – prognozowana wartość procesu.

Ważną cechą analizowanego etapu jest prognozowanie wartości stężeń dla końcowej części prognozowanego okresu w celu ograniczenia liczby ostrze-



Rys. 4. Schemat wykrywania i prognozowania sytuacji gazowych [7]

żeń o wykryciu określonego typu sytuacji gazowych. Jednak błędem byłoby zakładać, że $\theta \rightarrow \infty$, ponieważ prognozy należy dokonać na czas $t_0 + \theta$, który wystarcza do podjęcia kroków niezbędnych dla zapewnienia bezpieczeństwa, pod warunkiem, że:

$$e(t_0 + \theta) \leq \beta_m, \quad (4)$$

gdzie:

β_m – maksymalna dopuszczalna wartość błędu prognozowania

Rozpoznawanie sytuacji gazowych na podstawie bieżących informacji i wartości prognozowanych oznacza działania jednego typu, chociaż na różnych etapach. Przy rozpoznawaniu na podstawie bieżących informacji odbywa się ustalenie rodzaju sytuacji gazowej w danym momencie, a przy rozpoznawaniu na podstawie wartości prognozowanych rozpoznawanie dotyczy przyszłości.

W celu rozpoznania sytuacji gazowych należy całe spektrum symptomów procesu zmiany koncentracji metanu rozłożyć na szereg uporządkowanych wartości:

$$C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\} \Rightarrow \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (5)$$

$$\hat{C} = \{c_1, \hat{c}_2, \hat{c}_3, \dots, \hat{c}_n\} \Rightarrow \{\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{u}_3, \dots, \hat{u}_n\},$$

gdzie:

c_n (\hat{c}_n) i u_n (\hat{u}_n) – odpowiednio chwilowe wartości koncentracji metanu i odpowiadające im wartości sygnału elektrycznego,

$\hat{}$ – symbol oznaczający wartość prognozowaną.

Przy tym spełnione powinny być warunki:

$$c_1 < c_2 < c_3 \dots < c_n \Rightarrow u_1 < u_2 < u_3 \dots < u_n \quad (6)$$

$$\hat{c}_1 < \hat{c}_2 < \hat{c}_3 \dots < \hat{c}_n \Rightarrow \hat{u}_1 < \hat{u}_2 < \hat{u}_3 \dots < \hat{u}_n$$

Przypiszmy każdej sytuacji gazowej oznaczenie: niegroźna – A_1 (\hat{A}_1), alarmowa – A_2 (\hat{A}_2), z zagrożeniem wybuchu – A_3 (\hat{A}_3), dusząca – A_4 (\hat{A}_4), z niebezpieczeństwem uduszenia – A_5 (\hat{A}_5). Przy stosowaniu zasady teorii prototypów oznacza to, że przeprowadzono rozkład na pięć klas ($A_1 \dots A_5$ lub $\hat{A}_1 \dots \hat{A}_5$).

Każda klasa A lub \hat{A} charakteryzuje się określoną dziedziną D lub \hat{D} , dlatego uwzględniając (2), można zapisać:

$$A_1 \in D_1 = \{c_1, \dots, c_i\} \Rightarrow \{u_1, \dots, u_i\}$$

$$\hat{A}_1 \in \hat{D}_1 = \{\hat{c}_1, \dots, \hat{c}_i\} \Rightarrow \{\hat{u}_1, \dots, \hat{u}_i\} \quad (7)$$

$$A_5 \in D_5 = \{c_j, \dots, c_n\} \Rightarrow \{u_j, \dots, u_n\}$$

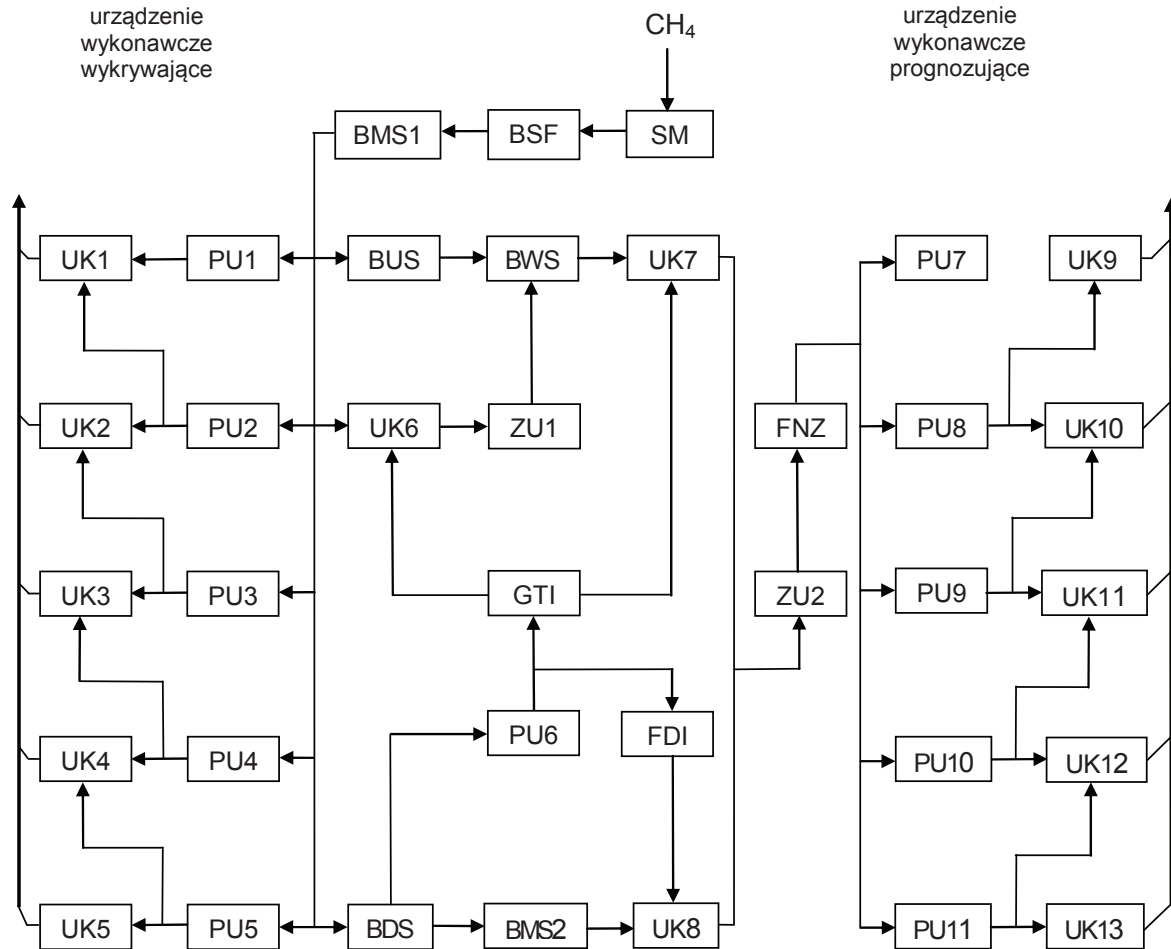
$$\hat{A}_5 \in \hat{D}_5 = \{\hat{c}_j, \dots, \hat{c}_n\} \Rightarrow \{\hat{u}_j, \dots, \hat{u}_n\}$$

Wyrażenie (7) należy traktować jako kluczową zasadę w momencie rozpoznawania sytuacji gazowych, ponieważ pokazuje ono, że zarówno w przypadku bieżących, jak i prognozowanych wartości zawsze będą one należeć do jednej z dziedzin $D_1 \dots D_5$ lub $\hat{D}_1 \dots \hat{D}_5$, a funkcje rozdzielające będą miały przebieg wzdłuż granic tych dziedzin.

Dwoma ostatnimi ogniwami w analizowanej strukturze są powiadomienie personelu kopalni o sytuacjach gazowych, które mają miejsce, i dodatkowo o tych, które prognozuje się w najbliższej przyszłości, oraz o prewencyjnych wyłączeniach zasilania. Kwestie pojawiające się przy projektowaniu tych funkcji dotyczą sposobu prezentacji, transmisji, zapisywania informacji oraz formułowania komunikatów poleceń i wymagają szczegółowego opracowania.

7. CHARAKTERYSTYKA SCHEMATU WYKRYWANIA I PROGNOZOWANIA SYTUACJI GAZOWYCH

Analizowane materiały pozwalają na stworzenie schematu funkcjonalnego realizacji procesu wykrycia i prognozowania sytuacji gazowych, co przedstawiono na rys. 4. Jeden z możliwych wariantów takiego schematu przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat funkcjonalny algorytmu wykrywania i prognozowania sytuacji gazowych [7]

Symbole użyte na rys. 5 oznaczają: SM – czujnik metanu, BSF – blok wygładzania fluktuacji, BMS – blok skalowania sygnałów, BUS – blok wzmacnienia sygnałów, BWS – blok odczytu sygnałów, ZU – urządzenie rejestrujące, GTI – generator impulsów taktowych, FDI – modulator szerokości impulsów, BDS – blok różnicowania sygnałów, FNZ – przetwornik zależności nieliniowych, PU – urządzenie progowe, UK – przekaźnik sterujący.

Wariant ten w sposób ogólny przedstawia sposoby konstrukcji środków technicznych służących do wykrywania i prognozowania sytuacji gazowych.

W zależności od bazy elementów (analogowa, cyfrowa, mikroprocesorowa) przedstawiony schemat może ulegać istotnym przekształceniom, ale zawarty w nim algorytm pozostanie bez zmian.

Działanie schematu opisano poniżej.

Za pomocą czujnika metanu SM koncentracja przekształcana jest w odpowiedni sygnał elektryczny. Sygnał ten, docierając do bloku wygładzania fluktuacji BSF, jest pozbawiany wysokoczęstotliwościowych składowych kontrolowanego procesu i dzięki temu w bloku skalowania sygnałów BMS jest wzmacniany do wymaganego poziomu.

W celu ustalenia sytuacji gazowych na podstawie informacji bieżących stosuje się urządzenia progowe PU1-PU5 wraz z przekaźnikami sterującymi UK1-UK5. Do urządzeń wykonawczych toru wykrywania sytuacji gazowych przekazywany jest przy tym sygnał od jednego urządzenia progowego, ponieważ przekaźniki sterujące urządzeń progowych są rozwarte. Przykładowo, w przypadku koncentracji równej 10% CH₄, co odpowiada sytuacji gazowej z niebezpieczeństwem wybuchu, zadziałają urządzenia progowe PU1-PU3, ale informacja zostanie przekazana jedynie przez JS3 UK3, ponieważ UK1 i UK2 będą rozwarte.

Poniżej opisano sposób prognozowania sytuacji gazowych.

Jeżeli prędkość narastania koncentracji nie przekracza 0,5%/s., to na wyjściu bloku różnicowania sygnałów BDS pojawi się poziom napięcia niewystarczający, aby zadziałał PU6. Jednocześnie UK8 będzie rozwarty, a generator impulsów taktowych GTI będzie z zachowaniem interwału czasowego włączać UK6 i UK7. Należy zauważyć, że momenty zamykania UK6 i UK7 nie następują w tym samym czasie. Jest to związane z koniecznością zapisania informacji w urządzeniu rejestrującym ZU1 po tym, jak zostanie dokonany zapis w ZU2.

W bloku wzmocnienia sygnałów BUS następuje podwojenie napięcia, pobranego z wyjścia BSM1. Następnie w bloku odczytu sygnałów BWS ustalana jest różnica pomiędzy podwojoną wartością napięcia w momencie t_0 i wartością sygnału w momencie $t_0 - \theta$, która jest przechowywana w ZU1. W dalszej kolejności ta różnica jest rejestrowana w ZU2, przechodzi przez UK7, po czym zanika impuls na wyjściu GTI, który steruje UK7, a pojawia się impuls zamykający UK6. Komutacja UK6 doprowadza do przepięcia informacji w ZU1. Następnie ponownie zanika impuls na wyjściu GTI i rozwiera się stycznik (kontakt) UK6. Na tym kończy się cykl. GTI generuje impuls powodujący zadziałanie UK7, następuje zapisanie informacji w ZU2 itd.

Jeżeli prędkość narastania koncentracji metanu przewyższa 0,5%/s., to na wyjściu BDS pojawia się napięcie wystarczające do wysterowania PU6. Jednocześnie blokuje się GTI, a na wyjściu modulatora szerokości impulsu FDI pojawia się impuls zamykający na określony czas stycznik (kontakt) UK8. Zamknięcie stycznika (kontaktu) UK8 powoduje zapis informacji, pozyskanej z wyjścia BSM2, w ZU2. Informacja ta jest przechowywana w ZU2 tak długo, jak na wyjściu BDS istnieje napięcie wystarczające do utrzymania PU6 w stanie wysterowania.

Po dezaktywacji PU6 na nowo zaczyna działać GTI i w ZU2 zapisuje się informacja przechodząca przez UK7. Rozpoznawanie sytuacji gazowych na podstawie

wartości prognozowanych, zapisanych w ZU2, następuje za pomocą PU7-PU11 i UK9-UK13 w sposób analogiczny, jak następuje to w przypadku określania sytuacji bieżącej. Różnica polega na tym, że w celu podwyższenia dokładności prognozy na wejściach urządzeń progowych przy pomocy przetwornika zależności nieliniowych FNZ dokonuje się dodatkowej korekty sygnału. W ten sposób przedstawiony schemat funkcjonalny pozwala określać i prognozować wszystkie typy sytuacji gazowych zgodnie z wynikami przeprowadzonych badań, a także pokazuje możliwość ich wykorzystania w systemach metanometrycznych.

8. WNIOSKI

Na podstawie rezultatów badań przedstawionych w niniejszej publikacji można założyć, że:

- automatyczne środki kontroli zawartości metanu stosowane na kopalniach nie pozwalają na w pełni odpowiednie reagowanie na zmiany sytuacji gazowej w wyrobiskach górniczych,
- procesy zmian koncentracji metanu powodują powstanie w wyrobiskach kopalń węgla kamiennego ściśle określonych sytuacji gazowych, które można sklasyfikować w oparciu o konkretne wartości stężenia objętościowego metanu oraz w oparciu o związane z nimi zagrożenie dla bezpieczeństwa prac górniczych,
- współczesny poziom rozwoju sprzętu analitycznego pozwala na realizację algorytmów wykrywania i prognozowania sytuacji gazowych powstających w wyrobiskach górniczych.

Literatura

1. Medwedew W. N., Beliaewa E. W., Skliarow A. L., Muranov B.: *Kontrola gazów w atmosferze w kopalniach węgla kamiennego Ukrainy*, „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, nr 6 (484), 2011, s. 3-21.
2. Петросян А. Э.: *Выделение метана в угольных шахтах (Закономерности и их инженерное использование)*. В: Наука, 1975, с. 188.
3. Ушаков К. З.: *Газовая динамика шахт*. В.: Недра, 1984, с. 248.
4. Медведев В. Н.: *Прогнозирование значений концентрации метана в рудничной атмосфере при интенсивных газовыделениях в горные выработки*. Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка-Донбасс, МакНИИ, 2007, Вып. 20, с. 110-119.
5. Брюханов А. М.: *Условия формирования взрывоопасной среды после внезапного выброса угля и метана*, Научный вісник УкрНДПБ України, К., № 1 (15), 2007, с. 23-27.
6. Ивахненко А. Г., Лапа В. Г.: *Предсказание случайных процессов*, Киев, Наукова думка, 1971, с. 416.
7. Ивахненко А. Г., Мюллер Й. А.: *Самоорганизация прогнозирующих моделей*. В: Техніка, 1985, с. 223.