

Józef SUŁKOWSKI

OKREŚLENIE STANU ZABURZENIOWEGO
W PRZEWIETRZANIU ODDZIAŁU EKSPLOATACYJNEGO KOPALNI
WYWOŁANEGO USZKODZENIEM TAM WENTYLACYJNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono nowy uproszczony sposób określenia rozpiętości powietrza w oddziale eksploatacyjnym kopalni po uszkodzeniu tam wentylacyjnych. Wykorzystano dla tego celu właściwość grafów o jednym wejściu i jednym wyjściu (SEC-grafów) polegającą na tym, że dla sieci opartych o takie grafy można wyznaczyć charakterystykę całkowitą. Wykazano bowiem, że jeśli w sieci zamkniętej podsięć oddziałowa stanowi SEC-graf, to również otoczenie podsięci jest SEC-grafem i można wyznaczyć jego charakterystykę

1. POWSTAWANIE ZABURZEŃ W PRACY SYSTEMU WENTYLACYJNEGO
ODDZIAŁU EKSPLOATACYJNEGO

Koncentracja i intensyfikacja wydobywania sprawiają, że systematycznie wzrasta ilość węgla uzyskiwanego z jednego oddziału eksploatacyjnego. Powoduje to również wzrost potrzeb powietrza w rejonach wentylacyjnych, utworzonych z poszczególnych oddziałów eksploatacyjnych.

Wyrobiiska oddziałowe rzadko tworzą pojedynczą bocznice wentylacyjną, częściej natomiast dosyć rozgałęzioną podsięć, zawierającą bocznice z prądami naturalnymi, regulowanymi lub całkiem ograniczonymi przez otamowanie. Efektywność przewietrzania przodków w oddziale zmniejszana jest przez straty powietrza na tamach, stąd dokładność w wydzieleniu drogi przepływu powietrza jest wymogiem oczywistym.

Wzrost zagrożenia gazowego i cieplnego sprawia dodatkowo, że tolerancja technologicznego procesu wydobywania na zakłócenia w pracy systemu wentylacyjnego oddziału jest coraz mniejsza. W warunkach pokładów silnie metanowych zaburzenie nie tylko kierunku przepływu prądu powietrza, ale również zmiana wielkości jego wydatku mogą być przyczynami powstania niebezpiecznych zjawisk gazodynamicznych lub wywołać przymusową przerwę w wydobywaniu.

Zakłócenie pracy systemu wentylacyjnego oddziału może być łatwo spowodowane uszkodzeniem tam wentylacyjnych (pojedynczych i śluzowych), które oddzielają między sobą lub regulują wielkość prądów powietrza. Pod pojęciem uszkodzenia tamy (śluzu) wentylacyjnej rozumie się tutaj wszelką niedopuszczalną zmianę jej charakterystyki (oporu) wywołaną uszkodzeniem konstrukcji, mechanizmu sterującego lub nieodpowiedzialnym otwarciem. Poszczególne rodzaje stanów uszkodzeniowych będą tylko wpływały na różny czas odnowy tamy wentylacyjnej. Otwarcie tamy można usunąć natych-

miał po zauważeniu, naprawa konstrukcji może trwać dłużej.

Zawodna praca tam i służ wentylacyjnych w oddziale związana jest z przecinaniem się dróg: odstawy urobku, transportu materiałów i elementów obudowy, ruchu ludzi z drogą przepływu powietrza. Kolidzji tych dróg trudno w praktyce uniknąć, można jedynie zmniejszyć ich ilość poprzez przemyślane przygotowanie pola eksploatacyjnego oraz polepszyć odporność uszkodzeniową urządzeń wentylacyjnych. Mjasnikow i Pawłow podają [7] wyniki badań średniego czasu między uszkodzeniami t_m i średniego czasu trwania uszkodzenia t_u dla dwóch typowych służ wentylacyjnych używanych w oddziałach wydobywczych kopalń Zagłębia Krásnieckiego:

- dla służ przejazdowej w pochylni: $t_m = 920$ min, $t_u = 6,4$ min.,
- dla służ w chodniku oddziałowym: $t_m = 1270$ min, $t_u = 3,8$ min.

Na podstawie podobnych pomiarów, wykonanych przez autora wspólnie z inż. Z. Kozłowskim dla służ wentylacyjnej w oddziale G-I KWK "Generał Zawadzki", uzyskano wyniki:

$$t_m = 512 \text{ min}, \quad t_u = 7,0 \text{ min}$$

Obserwowany czas pracy służ wynosił dla analizowanego przypadku 700 godz. (ok. 30 dni). Uszkodzenia tam wentylacyjnych w oddziale mogą więc występować dosyć często i istnieje możliwość pojawienia się wśród nich uszkodzeń niezwykle niebezpiecznych, bo trwających dłużej od przeciętnych i charakteryzujących się znaczną zmianą wartości oporu.

Aby ocenić niebezpieczeństwo związane z uszkodzeniem urządzeń wentylacyjnych należy rozpoznać stany zaburzeniowe przewietrzania oddziału i przeprowadzić ich analizę. Z wielu względów trudno jest stwarzać celowe zaburzenie w przewietrzaniu oddziału, nawet jeśli zapewni się bezpieczne warunki przeprowadzania takiego doświadczenia. Wiąże się ono bowiem z kosztami, brakiem ludzi dla obserwacji i pomiarów, dużą stratą czasu. Wielu autorów [1, 6, 8, 11, 15] dla rozpoznania stanów przewietrzania kopalni w warunkach różnego rodzaju wymuszeń (zawały, pożary, zatrzymania wentylatorów) zaleca stosowanie symulacji w oparciu o elektroniczne maszyny cyfrowe lub analogowe. Dostępność tych urządzeń dla służ wentylacyjnych jest jednak za mała, aby na codzień zastąpiły bardziej proste urządzenia liczące i wyeliminowały uproszczone metody obliczeniowe. Publikowane prace dotyczyły też metod obliczeniowych i sposobów symulacji zjawisk w odniesieniu do całej sieci wentylacyjnej. Podobne problemy w odniesieniu do wydzielonych części sieci, a jak widzimy mają one dla praktyki inżynierskiej duże znaczenie, nie były na ogół podnoszone. Przeszkodę stanowi niewątpliwie nieliniowość charakterystyk elementów sieci wentylacyjnej utrudniająca jej dekompozycję oraz potrzeba dołączenia do wydzielonej części sieci zastępczych źródeł przepływu powietrza o bliżej nie ustalonej charakterystyce.

Sposoby pokonania niektórych wskazanych wyżej problemów w określaniu stanów zaburzeniowych w przewietrzaniu oddziału eksploatacyjnego są właś-

nie przedmiotem rozważań dalszej części niniejszej pracy.

2. WYDZIELANIE PODSIECI I JEJ OTOCZENIA W OPARCIU O MODEL SIECI TRANSPORTOWEJ

Schemat kanoniczny kopalnianej sieci wentylacyjnej może być traktowany jako graf $G = \langle X, R \rangle$, utworzony ze zbioru X elementów x_1, x_2, \dots, x_n zwanych wierzchołkami oraz dowolnej relacji dwuargumentowej R , określonej na zbiorze X [12].

Para (x_i, x_j) wierzchołków grafu G , dla których $x_i R x_j$ nazywana jest krawędzią u_k grafu G . Wszystkie pary (x_i, x_j) tworzą m -elementowy zbiór krawędzi U .

Podgrafem grafu $G = \langle X, R \rangle$ nazywany jest dowolny graf $G' = \langle X', R_X' \rangle$ gdzie $X' \subseteq X$ a relacja R_X' jest relacją R ograniczoną do elementów zbioru X' . Graf składający się z wierzchołków i krawędzi, o które różni się graf wyjściowy G od podgrafu G' nazywany jest dopełnieniem \bar{G}' podgrafu G' . Graf zorientowany (skierowany) definiowany jest jako para $G = \langle X, \bar{R} \rangle$. Relacja \bar{R} wprowadza uporządkowanie każdej pary wierzchołków $[x_i, x_j]$ tworząc z niej łuk u_k o początku x_i oraz końcu x_j . Spośród wszystkich łuków wyróżnia się łuk $[x_i, x_i]$, nazywany pętlą.

W grafie można określić [3] porządek w rodzaju porządku starszeństwa, jeśli wprowadzona na zbiorze X relacja \bar{R} będzie posiadała następujące własności:

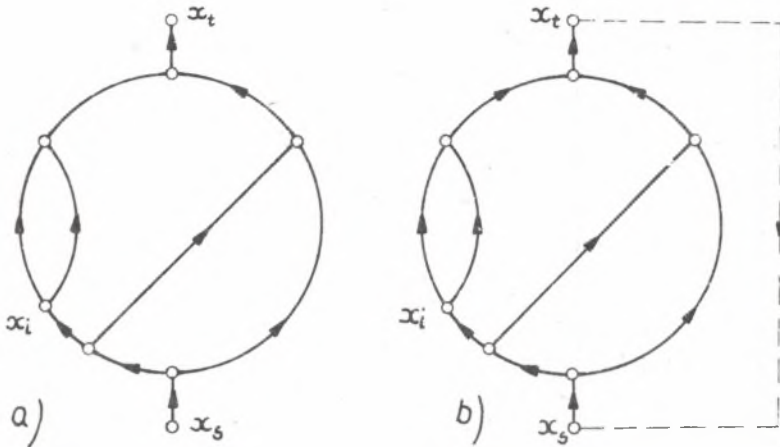
- 1° zwrotność, jeśli $x_i \bar{R} x_i$ dla dowolnego $x_i \in X$,
- 2° antysymetryczność, jeśli $x_i \bar{R} x_j$ i $x_j \bar{R} x_i$ wtedy i tylko wtedy, gdy $x_i = x_j$,
- 3° przechodniość, jeśli $x_i \bar{R} x_k$ i $x_k \bar{R} x_j$ pociąga $x_i \bar{R} x_j$.

W grafie uporządkowanym wyróżnić można wierzchołki charakterystyczne x_s , x_t zwane wejściem oraz wyjściem, jeśli nie istnieje takie $x_i \in X$, aby $x_i \bar{R} x_s$ oraz $x_t \bar{R} x_i$.

Tak więc z wierzchołka x_s łuki tylko wychodzą, natomiast do x_t tylko wchodzi.

W grafie zorientowanym $G = \langle X, \bar{R} \rangle$ każdemu łukowi $[x_i, x_j] \in U$ przyporządkować można nieujemną liczbę rzeczywistą $c(x_i, x_j)$, nazywaną przepustowością łuku [4]. Funkcja c odwzorowująca zbiór U w zbiór nieujemnych liczb rzeczywistych jest nazywana funkcją przepustowości.

W teorii programowania liniowego [4, 12] zostało wprowadzone pojęcie sieci transportowej S jako zorientowanego, spójnego grafu bez pętli, mającego dokładnie jedno wejście i dokładnie jedno wyjście i w którym każdemu łukowi $u_k \in U$ przyporządkowana jest przepustowość $c(u_k)$. Wierzchołki sieci nazywane są węzłami. Sieć transportowa jest więc systemem algebraicznym w postaci $S = \langle X, \bar{R}, c \rangle$. Tego rodzaju grafy o jednym wejściu i jednym wyjściu, nazywane w niektórych pracach [14] SEC - grafami (Single Entry Single Exit Connected graph), mogą stanowić abstrakcyjny model matematyczny materialnych układów sieciowych, w tym również kopalnianej sie-

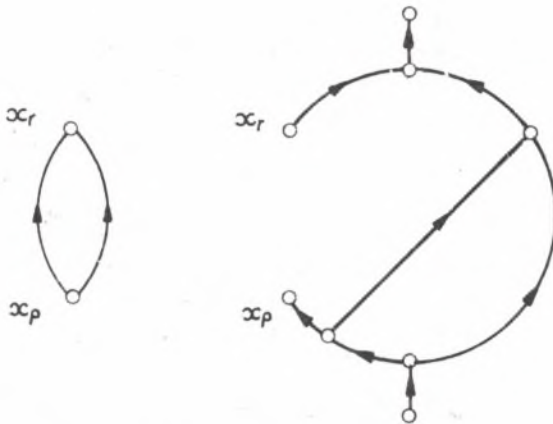


Rys. 1. Przykład sieci otwartej (a) i zamkniętej (b)

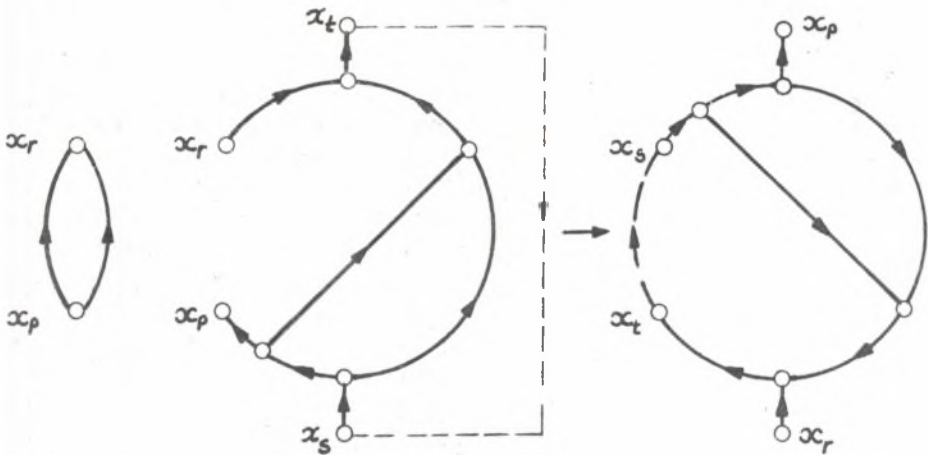
ci wentylacyjnej (rys. 1a). Rzeczywiste sieci wentylacyjne posiadają wprawdzie zwykle kilka wejść i wyjść, ale można i do nich odnieść model sieci transportowej poprzez wprowadzenie operacji rozszerzenia sieci S o dwa fikcyjne wejścia-wyjścia x_s, x_t łącząc je z istniejącymi wejściami-wyjściami za pomocą łuków o nieskończonej przepustowości. Dołączenie (rys. 1b) do sieci $S = \langle X, \vec{R}, c \rangle$ jednego fikcyjnego łuku $[x_t, x_s]$ o przepustowości $c(x_t, x_s) = \infty$ można interpretować jako tworzenie sieci zamkniętej \hat{S} , a łuk ten nazywać łukiem zamykającym sieć. Operacja zamykania sieci jest intuicyjna, gdyż z matematycznego punktu widzenia zakłada wprowadzony do sieci porządek. Relacja $x_i \vec{R} x_j$ nie określa wtedy jednoznacznie, że x_i poprzedza x_j , gdyż nie jest wykluczone, że element x_j może poprzedzać x_i . Relacja tego typu, cechująca się tylko zwrotnością i przechodnością, nazywana jest quasi - uporządkowaniem [13]. Będziemy więc dalej uważać, że sieć zamknięta jest quasi - uporządkowana.

Niezwykle użyteczne wydaje się wprowadzenie pojęcia podsieci sieci transportowej, analogicznie do pojęcia podgrafu. Podsiecią sieci $S = \langle X, \vec{R}, c \rangle$ nazywamy więc dowolną sieć $S' = \langle X', \vec{R}', c_U \rangle$, gdzie $X' \subseteq X$, relacja \vec{R}' jest relacją \vec{R} ograniczoną do elementów zbioru X' , a dziedziina funkcji przepustowości c_U ograniczona jest do zbioru $U' \subseteq U$. Podsieć sieci S spełnia więc definicję sieci transportowej dla innej pary węzłów x_p, x_r (rys. 2) zwanych odpowiednio wejściem i wyjściem podsieci [10]. Jeśli sieć S zbudowana została w oparciu o SEC-graf $G = \langle X, \vec{R} \rangle$ a SEC-graf $G' = \langle X', \vec{R}' \rangle$ stanowi podstawę podsieci S' , to dopełnieniem podsieci S' do sieci S będzie graf zorientowany \vec{G}' , stanowiący równocześnie dopełnienie podgrafu G' , gdyż $G' \cup \vec{G}' = G$. Łatwo zauważyć, że dopełnienie podsieci nie jest siecią z uwagi na niespełnienie definicji.

Rozpatrzmy jednak sieć zamkniętą \hat{S} uzyskaną przez zamknięcie łukiem $[x_t, x_s]$ sieci otwartej S . W oparciu o parę węzłów x_p, x_r wyróżniamy w niej podsieć S' (rys. 3a). Dopełnienie podsieci S' do sieci S nazywać



Rys. 2. Sposób wydzielenia podsieci w sieci otwartej



Rys. 3. Sposób wydzielenia podsieci w sieci zamkniętej (a) oraz uformowanie otoczenia podsieci w odrębną sieć (b)

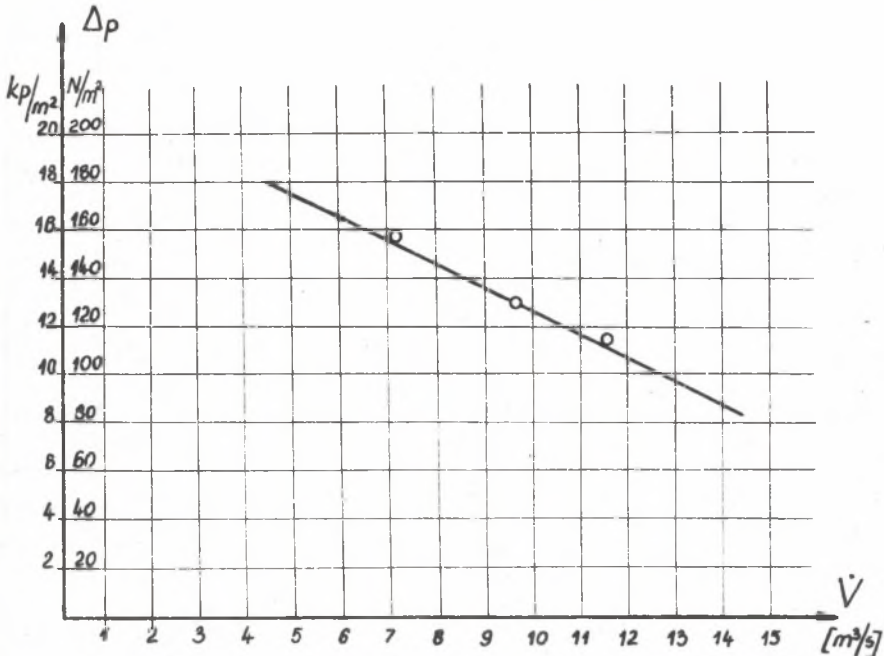
będziemy otoczeniem O podsieci. Otoczenie O jest siecią transportową, gdyż posiada dokładnie jedno wejście x_r (które jest wyjściem podsieci S), dokładnie jedno wyjście x_p (które jest wejściem podsieci S'), a funkcja przepustowości określona jest na zbiorze $U \cup U'$ (rys. 3b). W szczególnym przypadku dla sieci otwartej S , otoczeniem O jest jeden łuk $[x_t, x_s]$ zamkający sieć S .

Podobnie jak w sieci zamkniętej \hat{S} , również w otoczeniu O dowolnie wydzieleni podsieci S' , relacja \hat{R} między węzłami jest relacją quasi-porzadku. Objawia się to występowaniem konturów (oczek), w których początek kolejnego łuku jest równocześnie końcem poprzedniego.

3. WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYKI CAŁKOWITEJ WYDZIELONEJ PODSIĘCI

Jeżeli na zbiorze łuków U grafu $G = \langle X, \bar{R} \rangle$ określona jest funkcja f przyjmująca wartości rzeczywiste, to graf nazywać można obciążonym (dokładniej: graf z obciążonymi łukami) [12]. W przypadku SEC-grafów przedstawiających sieć wentylacyjną obciążeniem łuków może być opór wentylacyjny. Dla grafów obciążonych formułowane są różnego rodzaju zagadnienia obliczeniowe np. znalezienie obciążenia sumarycznego sieci, wybór dróg o minimalnym obciążeniu, wybór drzewa o minimalnym obciążeniu itp. W przypadku sieci wentylacyjnej interesujące jest obliczenie oporu całkowitego sieci lub wyznaczenie przebiegu charakterystyki całkowitej sieci. Z teorii wentylacji wiadomo, że dla pojedynczego elementu lub takiego ich połączenia, które można zastąpić jednym elementem, istnieje charakterystyka ciśnienio-wydajnościowa i można ją efektywnie wyznaczyć [2]. Warunki te spełnia sieć lub podsieć wentylacyjna. Efektywne wyznaczenie charakterystyki wymaga skorzystania w sposób bezpośredni lub pośredni z praw sieci i zastosowania odpowiedniej metody obliczeń. Charakterystykę całkowitą uzyskuje się pośrednio poprzez obliczenie parametrów przepływu w sieci na drodze symulacji analogowej lub komputerowej. Źródła wymuszeń mogą mieć fikcyjne, umowne charakterystyki, istotne są bowiem wartości wymuszenia przepływu. Druga droga wyznaczenia charakterystyki całkowitej to przeprowadzenie eksperymentu w warunkach rzeczywistych, w oparciu o celowo zorganizowane pomiary (tzw. zdejmowanie charakterystyki). W każdym przypadku wyznaczenie charakterystyki całkowitej dla sieci wentylacyjnej (opartej o SEC-graf) stanowi problem obliczeniowy lub techniczny, ale charakterystyka taka istnieje. Ponieważ otoczenie O podsieci S' również spełnia definicję sieci transportowej, więc istnieje jego charakterystyka całkowita.

Charakterystyka całkowita podsieci wentylacyjnej ma przebieg identyczny lub zbliżony do charakterystyki oporu, gdyż z takich elementów jest podsieć zbudowana. W skład otoczenia podsieci zawsze wchodzić będzie źródło wymuszeń przepływu (element dominujący) - stąd jego charakterystyka całkowita powinna mieć przebieg zbliżony do charakterystyki źródła, może jedynie nieco "gładszy". Występowanie w otoczeniu podsieci elementów różnego rodzaju ogranicza możliwości wyznaczenia jego charakterystyki całkowitej. Nie ma prostych sposobów, jedynie pozostaje droga symulacji komputerowej przepływów lub eksperyment w warunkach rzeczywistych. Wymuszenia zewnętrzne w odniesieniu do otoczenia podsieci polegają na dołączeniu oporu o różnej wartości, co jest zasadniczą różnicą w stosunku do wyznaczenia charakterystyki podsieci. Dla otoczenia stanowiącego sieć normalną wyznaczenie charakterystyki całkowitej jest łatwiejsze, zwłaszcza przy dodatkowych założeniach upraszczających. W przypadku braku rozeznania wartości oporów bocznic sieci wentylacyjnej, charakterystykę otoczenia dla wybranej podsieci można wyznaczyć w oparciu o eksperyment. Mierzyć należy stratę naporu między wejściem i wyjściem podsieci oraz wydatek płynącego przez nią powietrza. Różne wartości parametrów przepływu wymusić należy przez zmianę oporu podsieci (otwieranie lub zamykanie tam). Dla jednego z oddziałów kop. "R" przybliżoną charakterystykę otoczenia (rys.4) uzyskano



Rys. 4. Charakterystyka otoczenia podsieci oddziałowej dla oddziału z kopalni R

w taki właśnie sposób, stwarzając trzy różne stany przewietrzania w podsieci poprzez otwarcie oraz przymknięcie tamy regulacyjnej. Całkowitą stratę naporu w podsieci określono na podstawie pomiarów barometrycznych na wejściu i wyjściu. Wydatek zmierzono w sposób ogólnie przyjęty. Uzyskane trzy punkty charakterystyki pozwoliły aproksymować jej przebieg linią prostą, przynajmniej w zakresie prawdopodobnych zmian oporu oddziału (rys.4).

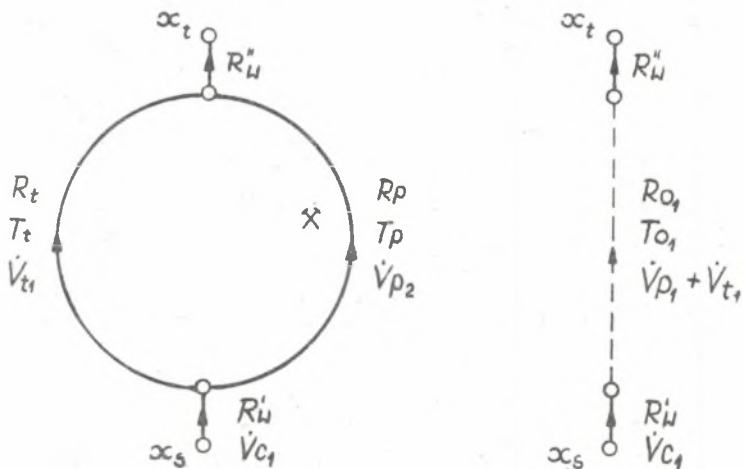
4. SPOSÓB PRZEPROWADZENIA OBLICZEŃ ROZPŁYWU POWIETRZA PO ZABURZENIU PRACY SYSTEMU WENTYLACYJNEGO ODDZIAŁU

Znajomość wartości oporów bocznic oraz przebiegu charakterystyki otoczenia umożliwia przeprowadzenie obliczeń rozpływu powietrza w podsieci oddziału eksploatacyjnego w stanie normalnego przewietrzania. W tym celu najlepiej wykorzystać oczywiście elektroniczne maszyny cyfrowe. Prognozowanie zaburzenia w pracy systemu wentylacyjnego rozpocząć należy od wytypowania miejsca uszkodzenia (tamy wentylacyjne) i oceny wielkości uszkodzenia. Miarą tej wielkości będzie opór tam po wystąpieniu uszkodzenia. Ocena oporu tam po uszkodzeniu jest trudna, bo zależność między oporem tamy a powierzchnią otwartą tamy jest nieliniowa. Niewielka zmiana szczelności w zakresie dużych oporów tam powoduje większe zmiany ich wartości, niż w przypadku małych oporów. Poza tym rozeznanie służb wentylacyjnych odnośnie tamowania bocznic jest jakościowe, prawie nigdy ilościowe.

Patruszew i Karlauch podają [9], że średni opór tam śluzowych (określono-

ny w Donbassie dla 153 urządzeń) wynosił 36,4 km. Natomiast średni opór otwartych szluz tylko 0,053 km. W tak szerokim zakresie mogą się więc mieścić wartości oporów tam szluzowych uszkodzonych. Ocena wartości oporu tam wentylacyjnych po uszkodzeniu, a wydaje się, że powinna być ona pesymistyczna, pozwala jednak na przeliczenie w oparciu o EMC stanu zaburzeniowego przewietrzania oddziału. Istnienie zależności między ilością powietrza a koncentracją gazów umożliwia wyciągnięcie wniosków odnośnie stworzonego niebezpieczeństwa.

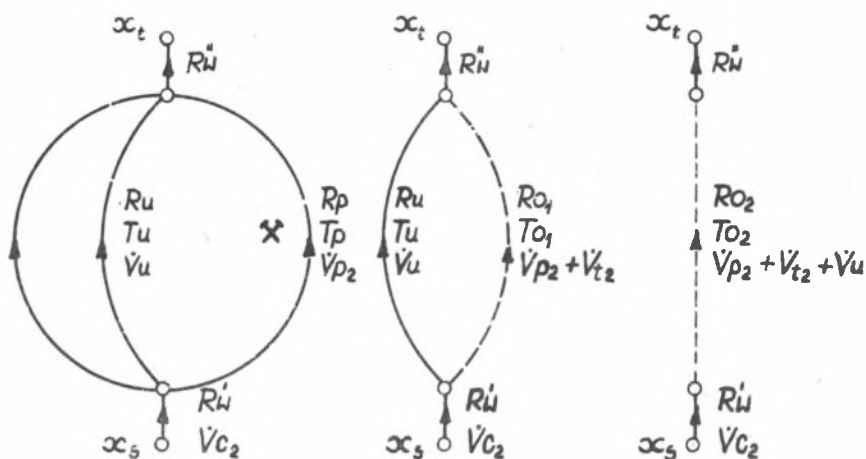
W przypadku braku możliwości wykorzystania EMC poważniejsze uszkodzenia systemu wentylacyjnego oddziału mogą być analizowane w oparciu o uproszczony sposób obliczeń zmian wydatków prądów. Podstawą uproszczenia jest założenie, że ważniejsze tamy wentylacyjne w oddziale umieszczone są w bocznicach równoległych do prądu opływowego, a wśród nich najważniejszą jest tama ograniczająca przepływ powietrza w bocznicy przylegającej do pierwszego węzła wewnątrz oddziału. Dlatego rozpatrywać się będzie uproszczony model podsięci oddziałowej w postaci połączenia szeregowo-równoległego bocznic, jak na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Uproszczony model podsięci oddziałowej dla stanu normalnego pracy systemu wentylacyjnego oddziału

Posłużymy się oznaczeniami:

- T_p, R_p - temperaturę i opór bocznicy zastępującej wszystkie bocznice z prądami przewietrzającymi przodki,
- T_t, R_t - temperaturę i opór bocznicy zastępującej wszystkie bocznice tamowane,
- T_u, R_u - temperaturę i opór uszkodzonych tam wentylacyjnych,
- T_o, R_o - temperaturę i opór całkowity połączenia równoległego, stanowiącego część rozgałęzienia podsięci,



Rys. 6. Uproszczony model podsięci oddziałowej dla stanu zaburzeniowego pracy systemu wentylacyjnego oddziału

T_c, R_c - temperament i opór całkowity podsięci oddziałowej,

R_w - opór bocznie połączonych szeregowo z częścią rozgałęzioną podsięci ($R_w = R'_w + R''_w$),

\dot{V}_p - wydatek prądu przewietrzającego przodki,

\dot{V}_t - wielkość ucieczek powietrza przez wszystkie tamy w oddziale,

\dot{V}_u - dodatkowy przepływ powietrza w bocznicy z uszkodzonymi tamami,

\dot{V}_c - wydatek całkowity prądu przepływającego przez oddział.

Wskaźnik (1) przyjęto dla stanu przed uszkodzeniem, a wskaźnik (2) dla stanu po uszkodzeniu systemu wentylacyjnego oddziału.

Na podstawie własności połączenia równoległego określamy związki między oporami (lub temperamentami) a wydatkami prądów przed uszkodzeniem systemu wentylacyjnego oddziału.

$$\dot{V}_{c1} = \dot{V}_{p1} + \dot{V}_{t1} \quad (1)$$

$$R_{O1} = R_{c1} - R_w \quad (2)$$

$$T_{O1} = T_{p1} + T_t \quad (3)$$

$$T_{O1} = \frac{1}{\sqrt{R_{O1}}} = \frac{1}{\sqrt{R_{c1} - R_w}} \quad (4)$$

$$\frac{\dot{V}_{p1}}{\dot{V}_{c1}} = \frac{T_p}{T_{O1}} = T_p \sqrt{R_{c1} - R_w} \quad (5)$$

skąd

$$\dot{V}_{p1} = \dot{V}_{c1} T_p \sqrt{R_{c1} - R_w} \quad (6)$$

Uszkodzenie tam wentylacyjnych w oddziale można traktować jako włączenie dodatkowej bocznic o dużym temperaturze T_u (małym oporze R_u), równym praktycznie temperaturze (oporowi) bocznic z uszkodzonymi tamami. Nie wielkie zmiany wielkości T_t można pominąć, gdyż w oddziale są zwykle jeszcze inne bocznicie otamowane. Dla powstałego połączenia równoległego trzech bocznic wraz z dodatkowym oporem szeregowym R_w (rys. 6) można napisać związki:

$$\dot{V}_{c2} = \dot{V}_{p2} + \dot{V}_{t2} + \dot{V}_u \quad (7)$$

$$T_{O2} = T_p + T_t + T_u \quad (8)$$

$$\frac{\dot{V}_{p2}}{\dot{V}_{c2}} = \frac{T_p}{T_{O2}} \quad (9)$$

stąd

$$\dot{V}_{p2} = \dot{V}_{c2} \frac{T_p}{T_{O2}} \quad (10)$$

Na podstawie zależności (3) i (8) można napisać

$$T_{O2} = T_{O1} + T_u \quad (11)$$

Uwzględniając zaś (4), otrzymamy

$$T_{O2} = \frac{1}{\sqrt{R_{c1} - R_w}} + \frac{1}{\sqrt{R_w}} = \frac{\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1} - R_w}}{\sqrt{R_u} \sqrt{R_{c1} - R_w}} \quad (12)$$

Ostatecznie więc, na podstawie (10) i (12)

$$\dot{V}_{p2} = \dot{V}_{c2} T_p \frac{\sqrt{R_w} \sqrt{R_{c1} - R_w}}{\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1} - R_w}} \quad (13)$$

Znając wartości wydatków prądów dopływających do przodków przed (6) i po (13) uszkodzeniu systemu wentylacyjnego, można określić ich stosunkową zmianę:

$$\frac{\dot{V}_{p2}}{\dot{V}_{p1}} = \frac{\dot{V}_{c2}}{\dot{V}_{c1}} \frac{\sqrt{R_u}}{\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1} - R_w}} \quad (14)$$

skąd

$$\dot{V}_{p2} = \frac{\dot{V}_{c2}}{V_{c1}} \frac{\sqrt{R_u}}{\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1} - R_w}} \dot{V}_{p1} \quad (15)$$

Z ostatniej zależności widać, że zmiana wydatku prądu w przedkach, na skutek uszkodzenia tam w prądzie równoległym do niego, zależy od wartości oporu R_u uszkodzonych tam (łącznie z wyrobiskiem) i oporu całkowitego $R_{O1} + R_{c1} - R_w$ rozgałęzionej części podsieci oraz od stosunku ilości powietrza dopływającego do oddziału po i przed uszkodzeniem.

Przyjmujemy pomocnicze oznaczenia:

$$\frac{\dot{V}_{c2}}{V_{c1}} = k_1 \quad (16)$$

$$\frac{\sqrt{R_u}}{\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1} - R_w}} = k_2 \quad (17)$$

$$k_1 k_2 = k \quad (18)$$

Uzyskamy wtedy zmodyfikowaną postać zależności (15)

$$\dot{V}_{p2} = k_1 k_2 \dot{V}_{p1} = k \dot{V}_{p1} \quad (19)$$

Współczynnik k_1 zależy bezpośrednio od wielkości zmiany charakterystyki R_c podsieci oddziałowej oraz od przebiegu charakterystyki otoczenia podsieci, gdyż przecięcie się tych dwóch charakterystyk wyznacza wartość wydatku całkowitego \dot{V}_{c2} w podsieci. Dla oceny położenia tego punktu dokonujemy dalszego uproszczenia modelu podsieci przyjmując $R_w = 0$, czyli zaniedbując wpływ oporów wlotu i wylotu z części rozgałęzionej podsieci. Uzyskamy wtedy zależności:

$$R_{c1} = R_{O1} \quad \text{oraz} \quad T_{c1} = T_{O1} \quad (20)$$

$$R_{c2} = R_{O2} \quad \text{oraz} \quad T_{c2} = T_{O2} \quad (21)$$

uwzględniając (11) oraz (20), uzyskujemy

$$T_{c2} = T_{c1} + T_u \quad (22)$$

Bocznicą z uszkodzoną tamą stanowi więc połączenie równoległe z całą podsiecią odpowiadającą stanowi normalnemu (przed uszkodzeniem).

Rozpatrzmy dalej dwa skrajne przebiegi charakterystyki otoczenia: poziomy i pionowy.

a) $\Delta p = \text{const}$ (przebieg poziomy)

Podsieci oddziałowe przed i po uszkodzeniu można traktować jako gałęzie połączenia równoległego i napisać:

$$\frac{\dot{V}_{c2}}{V_{c1}} = \frac{T_{c2}}{T_{c1}} \quad (23)$$

Uwzględniając (22), uzyskujemy

$$\frac{\dot{V}_{c2}}{V_{c1}} = \frac{T_{c1} + T_u}{T_{c1}} = \frac{\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1}}}{\sqrt{R_u}} \quad (24)$$

a więc

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1}}}{\sqrt{R_u}} = 1 + \frac{\sqrt{R_{c1}}}{\sqrt{R_u}} \quad (25)$$

b) $\dot{V} = \text{const}$ (przebieg pionowy)

Z założenia:

$$k_1 = \frac{\dot{V}_{c2}}{V_{c1}} = 1 \quad (26)$$

Uzyskaliśmy więc następującą ocenę zakresu zmian współczynnika k_1 .

$$1 \leq k_1 \leq 1 + \frac{\sqrt{R_{c1}}}{\sqrt{R_u}} \quad (27)$$

Szerokość zakresu zmienności współczynnika k_1 dla ustalonej podsieci o oporze R_{c1} , zależy od oporu R_u uszkodzonych tam. Im ten opór pozostanie większy, tym oczywiście zakres wartości współczynnika jest mniejszy. Wartość współczynnika k_1 dla pośrednich przebiegów charakterystyki otoczenia powinna być określona w oparciu o znany przebieg takiej charakterystyki. Znajomość charakterystyki otoczenia umożliwia jednak stosowanie dokładnej metody obliczeń w oparciu o EMC lub analog, a wtedy metoda uproszczona jest niepotrzebna. Trzeba więc mieć możliwość oszacowania przebiegu charakterystyki otoczenia, bez potrzeby przeprowadzania szerszych pomiarów i obliczeń.

Bierzemy tutaj pod uwagę, że również prognoza wielkości uszkodzenia tam pozwala tylko na oszacowanie zmiany oporu całkowitego podsieci.

Najprościej przyjąć przebieg charakterystyki otoczenia w formie linii prostej przechodzącej przez punkt o współrzędnych $(\Delta p_{c1}, \dot{V}_{c1})$ i nachylonej pod kątem 45° (a właściwie $90^\circ + 45^\circ$) do osi odciętych. Skala wartości na osiach układu współrzędnych: 1 kp/m^2 (10 N/m^2) - $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Równanie charakterystyki dla powyższych założeń miałyby postać:

$$\Delta p - \Delta p_{c1} = m(\dot{V} - \dot{V}_{c1}) \quad (28)$$

a ponieważ: $m = -1$

$$\Delta p = \dot{V}_{c1} + \Delta p_{c1} - \dot{V} \quad (29)$$

Równanie (29) razem z równaniem charakterystyki podsieci dla stanu po uszkodzeniu tam wentylacyjnych

$$\Delta p = R_{c2} \dot{V}^2 \quad (30)$$

stanowi układ równań, którego rozwiązaniem są szukane wartości \dot{V}_{c2} i Δp_{c2} . (Opór R_{c2} w równaniu (30) dla stanu zaburzeniowego znaleźć można ze wzoru na opór połączenia szeregowo-równoległego przedstawionego na rys. 6

$$R_{c2} = R_w + \frac{R_u(R_{c1} - R_w)}{(\sqrt{R_u} + \sqrt{R_{c1} - R_w})^2} \quad (31)$$

Opór R_u podlega oszacowaniu, opór R_{c1} oblicza się na podstawie znanych parametrów Δp_{c1} i \dot{V}_{c1} a opór R_w należy dodatkowo zmierzyć lub oszacować na podstawie nomogramów oporów jednostkowych. Po uzyskaniu wartości \dot{V}_{c2} można ostatecznie obliczyć współczynnik k_1 ze wzoru (16).

Współczynnik k_2 wiąże wzorem (17) opory R_u , R_{c1} , R_w . Dla ustalonej podsieci wartość współczynnika k_2 zależy od oporu R_u uszkodzonych tam.

Zakładając zmienność R_u ze wzoru (17) znajdujemy łatwo, że:

$$0 < k_2 \leq 1 \quad (32)$$

Przedstawiony sposób obliczeń zmian wydatków prądów na skutek poważnego uszkodzenia tam wentylacyjnych w podsieci oddziałowej sprawdzony został dla przykładu z kop."R".

Na podstawie przeliczeń komputerowych stanu zaburzeniowego w jednym z oddziałów uzyskano wartości współczynnika

$k = 0,46 \pm 0,57$, natomiast według sposobu uproszczonego uzyskano

$k = 0,68$ - czyli wartość wyższą o 20%.

Już na tym przykładzie widać, że sposób uproszczony obliczenia stanu zaburzeniowego w podsieciach oddziałowych może znaleźć praktyczne zastosowanie. Szczegółowymi badaniami należałoby jednak zweryfikować założenie o liniowym przebiegu charakterystyki otoczenia tych podsieci.

LITERATURA

- [1] Abramov F.A. i inni: *Vozduchoraspredelenie v ventiljacionnyh setjach šacht*. Nauk. duuka, Kiev, 1971.
- [2] Budryk W.: *Wentylacja kopalń*. WGH, K-ce, 1961.
- [3] Flachsmeyer J.: *Kombinatoryka*. PWN, W-wa, 1974.
- [4] Ford L.R.Jr, Fulkerson D.R.: *Przepływy w sieciach*. PWN, W-wa 1969.
- [5] Haviland R.B.: *Niezawodność urządzeń technicznych*. WNT, W-wa, 1968.
- [6] Medvedev B.I., Pavlovskij V.A.: *Modelirovanie avarijnyh režimov provetrivanija šacht pri intensivnom teploobmene*. *Izv. VUZ Gornyj Ž.*, 1972, Nr 2.
- [7] Mjasnikov A.A., Pavlov A.F.: *Nadežnost provetrivanija vyemočnogo učastka*. XV Int. Conf. Safety Mines Research, Karlovy Vary, 1973, Short. Rep. t. II.
- [8] Mosin I.M. i inni: *Rasčet avarijnyh režimov provetrivanija šacht (pri požarach) na elektronnyh cifrovych vyčislitelnyh mašinach*. *So-verš. provetr. šacht, Tr. Dnepr. fil. in-ta mech. AN USSR, vyp. 1, Nedra, 1967*.
- [9] Patrušev M.A., Karnauč N.V.: *Ustojčivost' provetrivanija ugolnyh šacht*. *Nedra, M., 1973*.
- [10] Sułkowski J.: *Rozwiązalność podstawowych zagadnień teorii kopalnia-nej sieci wentylacyjnej w zależności od jej struktury*. Gliwice, 1971, (niepubl.).
- [11] Suzuki T.: *Studies on mine ventilation network analysis*. Congr. Int. Joach. Fod. Vent., Joachymov, 1968.
- [12] Szamkołowicz L.: *Teoria grafów skończonych*. Oss. W-w, 1971.
- [13] Szrejder J.A.: *Równość, podobieństwo, porządek*. WNT, W-wa, 1975.
- [14] Tabakow I.G.: *Teoria systemów diagnostycznych*. *Pr. Nauk. Inst. Cyb. Techn. Pol. Wrocław., Monogr. z. 5, W-w, 1975*.
- [15] Teply E.: *Calculations for regulation of mine ventilation networks*. *Rud.-Met. Zb., 1971, Nr 1*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ РАССТРОЙСТВА В ПРОВЕТРИВАНИИ
 ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАЙОНА ШАХТЫ, ВЫЗВАННОГО ПОВРЕЖДЕНИЕМ
 ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК

Р е з ю м е

В статье представляется способ определения изменений потокораспределения воздуха в эксплуатационном районе шахты, вызванных изменением сопротивления вентиляционных перемычек. Показывается, что если районная сеть может быть скопирована графом с одним входом и выходом /SEC-графом/, тогда и её окружение, то есть остальную часть вентиляционной сети вместе с источниками нагромождения, можно скопировать с помощью SEC-графа. Условием является однако рассматривание замкнутой сети.

Для сетей основанных на SEC-графах можно установить полные характеристики, благодаря которым определяется величина течения воздуха. Обсуждены способы установления характеристик районной сети и её окружения, а также представлен новый упрощенный способ оценки изменений потокораспределения воздуха в районе, который можно применить на практике без нужды употребления цифровых вычислительных машин.

DETERMINATION OF THE DISTURBANCE STATE IN THE MINE'S
WINNING FLAT, CAUSED BY DAMAGE OF A VENTILATION STOPPING

S u m m a r y

In the paper there was a way presented of determining changes in air flow in the coal-mine's flat, caused by the resistance change of ventilation stoppings.

It has been proved that if the flat network could be patterned by means of a graph with one input and one output (SEC - graph), then its environment too, i.e. the remaining part of the ventilation network and the sources of ram effect could be patterned by means of a SEC-graph.

The only condition is however a consideration of a problem within a closed network.

For networks based on SEC-graphs can be determined total characteristics, which determine the quantity of air flow.

The way of a flat network's characteristic and its environment determination has been analysed and a new simplified evaluation way of changes in air propagation within the flat has been presented. It can be used in practice without any computer's help.