

Stanisław PŁACZEK

HIERARCHICZNA KLASYFIKACJA SYSTEMU WENTYLACYJNEGO KOPALNI

Streszczenie. Złożony system, jakim jest niewątpliwie kopalniany system wentylacyjny, trudno opisać i sklasyfikować w sposób prosty i jednoznaczny.

Nas interesują dwa aspekty zagadnienia:

- a) poziom abstrakcji, czyli opisu systemu wentylacyjnego;
- b) złożoność obliczeniowa, czyli złożoność w podejmowaniu decyzji.

Podstawowy dylemat, który zawarty jest w poszukiwaniu kompromisu pomiędzy prostotą opisu, a niezbędną dokładnością i koniecznością uwzględniania wielu charakterystyk złożonego systemu, proponuje się rozwiązać poprzez hierarchizację opisu wielopoziomowych modeli matematycznych. Dla wyróżnienia tej koncepcji wprowadza się pojęcie "straty", a złożony system wentylacyjny opisuje się w trzech stratach.

Złożoność w podejmowaniu decyzji jest ściśle związana z procesami znajdowania rozwiązań. Idea hierarchizacji podejmowania decyzji polega na określeniu zbioru problemów, które należy rozwiązywać szeregowo w tym sensie, że rozwiązanie określonego podzadania określa parametry dla następnego.

Rozwiązanie całości osiąga się, kiedy rozwiązane zostaną wszystkie problemy (podzadania).

Wprowadzone pojęcie "słoja" służy do opisu hierarchizacji znajdowania rozwiązań.

1. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU WENTYLACYJNEGO

W klasycznej teorii systemów przez system rozumie się zespół elementów lub obiektów, które są powiązane w całość przez określone związki lub zależności. Elementy systemu o danej strukturze są scharakteryzowane skończoną liczbą parametrów. Dane są również wymuszenia zewnętrzne, które działając w określonych punktach systemu powodują powstawanie w nim reakcji (tzw. odpowiedzi). Dla określenia odpowiedzi posługujemy się określonymi prawami fizycznymi, które wiążą ze sobą wymuszenia zewnętrzne oraz odpowiedzi z uwzględnieniem elementów i parametrów systemu (I i II praw Kirchhoffa, zasada zachowania energii).

Uwzględniając powyższe dane przez system wentylacyjny kopalni rozumie się zbiór wyrobisk górniczych i urządzeń wentylacyjnych, którego celem jest doprowadzenie z otoczenia (atmosfery) do miejsc pracy odpowiedniej ilości świeżego powietrza, a po jego wykorzystaniu, odprowadzenie tego powietrza - jako zużytego - z powrotem do atmosfery [1].

Proces ciągłego doprowadzania powietrza do miejsc pracy w kopalni i jego odprowadzenie nazywany jest przewietrzaniem kopalni. Proces ten ma w górnictwie szczególne znaczenie, gdyż wpływając na bezpieczeństwo i wydajność pracy górników determinuje możliwość prowadzenia robót podziemnych. Problematyka przewietrzania kopalni staje się coraz bardziej złożona z następujących przyczyn:

- a) szybko postępujących procesów mechanizacji i automatyzacji robót górniczych,
- b) zwiększenia głębokości eksploatacji i związanej z tym wysokiej temperatury pierwotnej skał,
- c) wzrostu wydobywania, koncentracji i mechanizacji produkcji.

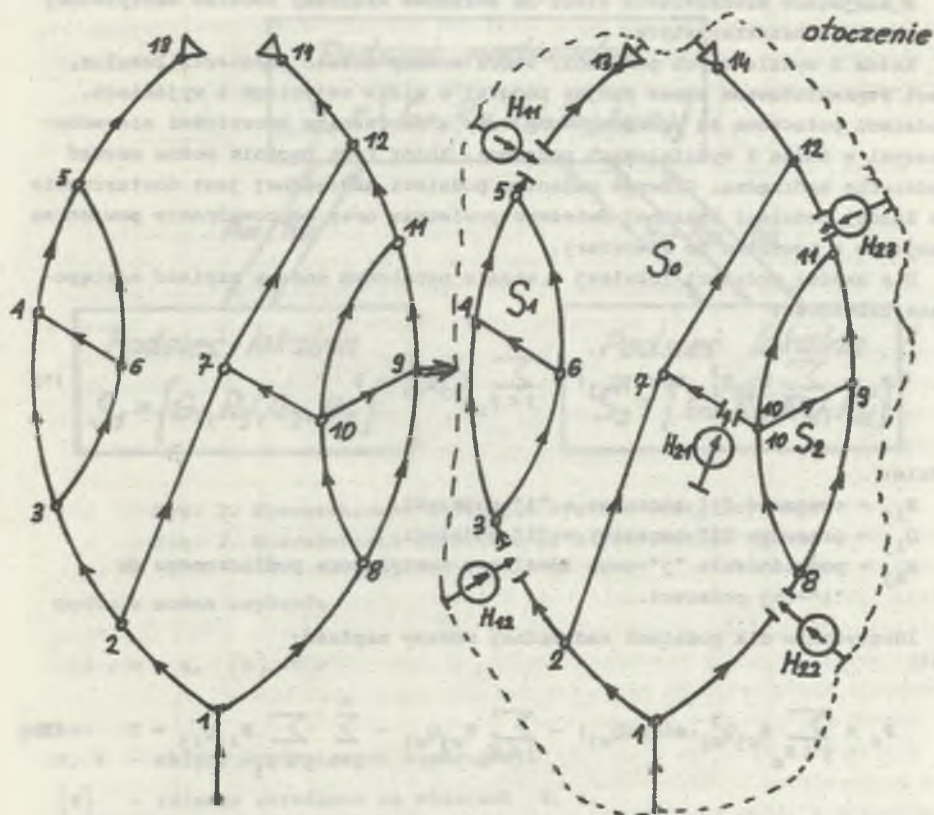
Kopalniana sieć wentylacyjna jest układem dynamicznym a liczne i częste zmiany długości i przekrojów wyrobisk, tworzenie nowych przodków, likwidacja pól wyeksploatowanych, wymagają odpowiedniego rozprowadzenia powietrza w kopalni. Rozprowadzenie powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej może być swobodne lub wymuszone. Przez swobodny rozptył powietrza w kopalni rozumie się rozptył, jaki występuje w sieci wentylacyjnej przy czynnych wentylatorach głównych bez stosowania specjalnych urządzeń - regulatorów - ułatwiających (wentylatory pomocnicze) lub utrudniających (tamy dławiące) przepływ powietrza w wyrobiskach górniczych. Wymuszony rozptył powietrza uzyskuje się poprzez zastosowanie w sieci regulatorów.

Duży stopień złożoności sieci wentylacyjnej zawierającej znaczną liczbę wyrobisk, wentylatorów głównych, tam, wentylatorów pomocniczych a także skomplikowany model matematyczny procesów wymiany ciepła i masy oraz przepływu powietrza w wyrobisku górniczym utrudniają prowadzenie obliczeń numerycznych.

Spójrzanie całościowe na matematyczny model systemu wentylacyjnego kopalni w formie równań algebraicznych czy też różniczkowych i poszukiwanie rozwiązania swobodnego czy też wymuszonego rozptyłu powietrza napotyka w praktyce wiele przeszkód i ograniczeń:

- a) ilość równań I i II prawa Kirchhoffa przekracza setki. Macierze zawierające współczynniki przy niewiadomych są rozmiarowo duże i słabo wypełnione (rzadkie),
- b) większość równań, opisująca procesy przepływu powietrza, wymiany ciepła, jest nieliniowa lub zawiera nieliniowe współczynniki.

Rozwiązanie tak postawionego problemu jest złożone i napotyka na określone ograniczenia numeryczne. Znajomość swobodnego rozptyłu powietrza jest szczególnie ważne w awaryjnych stanach sieci wentylacyjnej - spowodowanych pożarami podziemnymi, zawałami wyrobisk górniczych, wyrzutami gazów i skał, zatrzymaniem wentylatorów głównych i pomocniczych - gdzie szybka analiza numeryczna zaistniałej sytuacji może przynieść korzyść poprzez obiektywne potwierdzenie lub zaprzeczenie słuszności podjętych decyzji.



Rys. 1. Podział systemu wentylacyjnego na podsieci lokalne i podsieć nadrzędną

Fig. 1. Classification of ventilation system into local networks and superimposing network

Powstała sprzeczność związana z określonymi ograniczeniami numerycznymi - z jednej strony, a koniecznością szybkiej analizy komputerowej złożonych sytuacji awaryjnych - z drugiej strony - należy, naszym zdaniem, rozwiązać poprzez poszukiwanie zależności hierarchicznych (wielopoziomowych) w systemie wentylacyjnym kopalni. W złożonej sieci wentylacyjnej przedstawionej za pomocą schematu kanonicznego (rys. 1) można wydzielić dwie rozłączne podsieci S_1 , S_2 . Wydzielona podsieć może być utożsamiana z rejonem lub grupą rejonów wentylacyjnych. Nie jest to jednak warunek konieczny, lecz może ułatwić w przyszłości prawidłową interpretację otrzymanych rezultatów obliczeń.

W miejscach rozdzielania sieci na składowe włączamy idealne wentylatory o poziomej charakterystyce.

Każda z wydzielonych podsieci, którą możemy nazwać podsiecią lokalną, jest reprezentowana przez spójny podgraf o wielu wejściach i wyjściach. Podsieci połączone są pomiędzy sobą oraz z otoczeniem bocznymi nie wchodzącymi w żadną z wydzielonych podsieci. Zbiór tych bocznic można nazwać podsiecią nadrzędną. Głównym zadaniem podsieci nadrzędnej jest dostarczenie do każdej podsieci lokalnej świeżego powietrza oraz odprowadzenie powietrza zużytego z powrotem do atmosfery.

Dla każdej podsieci lokalnej w stanie ustalonym możemy napisać następującą zależność:

$$P_i = \sum_{j \in S_i} R_{ij} Q_{ij}^3 \cdot \text{sign}(Q_{ij}) - \sum_{j \in S_i} H_{ij} Q_{ij} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

- R_{ij} - oporność "j" bocznic w "i" podsieci,
- Q_{ij} - przepływ "j" bocznic w "i" podsieci,
- H_{ij} - podciśnienie "j"-tego idealnego wentylatora podłączonego do "i"-tej podsieci.

Identycznie dla podsieci nadrzędnej możemy napisać:

$$P_o = \sum_{j \in S_o} R_{oj} Q_{oj}^3 \cdot \text{sign}(Q_{oj}) - \sum_{j \in S_o} H_{wj} Q_{wj} - \sum_{i=1}^n \sum_{j \in S_i} H_{ij} Q_{ij} = 0 \quad (2)$$

Pierwszy człon zależności (2) określa wielkość mocy traczonej we wszystkich bocznicach podsieci nadrzędnej. Człon drugi określa moc wentylatorów głównych pracujących w danej podsieci, a człon trzeci przedstawia sumę mocy traczonej na idealnych wentylatorach włączonych w sieć nadrzędną w miejsce wydzielonych podsieci lokalnych. Cały więc system wentylacyjny można przedstawić w formie dwupoziomowej struktury powiązanej w całość poprzez idealne wentylatory pomocnicze H_{ij} (rys. 2).

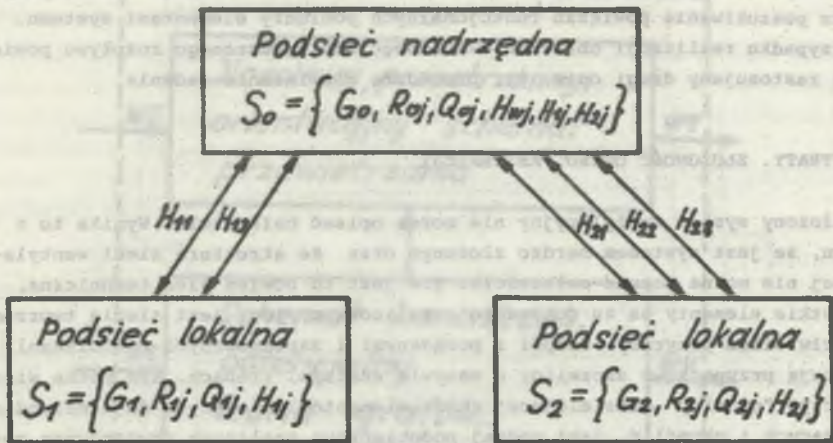
Złożonego systemu, jakim jest niewątpliwie hierarchiczny system wentylacyjny kopalni, nie można opisać i sklasyfikować w sposób prosty i jednoznaczny. Nas interesują dwa aspekty:

- a) poziom opisanego, czyli abstrakcji,
- b) złożoność obliczeniowa, czyli złożoność w podejmowaniu decyzji.

Formalnie przez system S rozumiemy odwzorowanie przyporządkowujące każdemu elementowi zbioru X element zbioru Y

$$S : X \longrightarrow Y$$

(3)



Rys. 2. Hierarchiczna struktura systemu wentylacyjnego
 Fig. 2. Hierarchical structure of a ventilation system

Ogólnie można zapisać:

$$S := \langle X, \{R\}, Y \rangle \tag{4}$$

gdzie:

X, Y - zbiory wyróżnionych elementów,

$\{R\}$ - relacje określone na zbiorach X, Y .

Wg [2] relacje między elementami systemu można przedstawić na dwa sposoby:

a) opisu przez wejście-wyjście, w którym zachowanie się systemu rozpatruje się jako podzbiór iloczynu kartezjańskiego

$$S \subseteq X \times Y \tag{5}$$

b) relacja jest opisana w sposób niejawnny, jako procedura rozwiązywania zadania. System S nazywa się rozwiązującym zadanie (systemem podjęcia decyzji), jeżeli mamy zbiór zadań D i zbiór rozwiązań Y . Dla dowolnego elementu $x \in X$ i $y \in Y$ para (x,y) należy do systemu S , $(x,y) \in S$, wtedy i tylko wtedy, kiedy y jest rozwiązaniem zadania $D(x)$. Zadania optymalizacji lub znajdowania rozwiązań zadowalających są przykładem systemów rozwiązujących zadania (systemy podjęcia decyzji).

Do systemu wentylacyjnego kopalni będziemy stosować opis WE-WY w przypadku poszukiwania powiązań funkcjonalnych pomiędzy elementami systemu. W przypadku realizacji obliczeń swobodnego lub wymuszonego przepływu powietrza zastosujemy drugi opis, tj. procedurę rozwiązania zadania.

2. STRATY. ZŁOŻONOŚĆ OPISU, ABSTRAKЦИИ

Złożony system wentylacyjny nie można opisać całkowicie. Wynika to z faktu, że jest systemem bardzo złożonym oraz że strukturę sieci wentylacyjnej nie można poznać całkowicie. Nie jest to bowiem sieć techniczna, wszystkie elementy są tu dokładnie zrealizowane, lecz jest siecią tworzoną przeciw siłom przyrody. Wespół z pożądanymi i zaplanowanymi wyrobiskami powstają przypadkowe szczeliny w masywie skalnym, zrobach. Nie można więc wytyczyć "granicy" oddzielającej zbiór elementów należących do sieci od nie należących i określić, jaki rodzaj podobieństwa realizuje odwzorowany model [1].

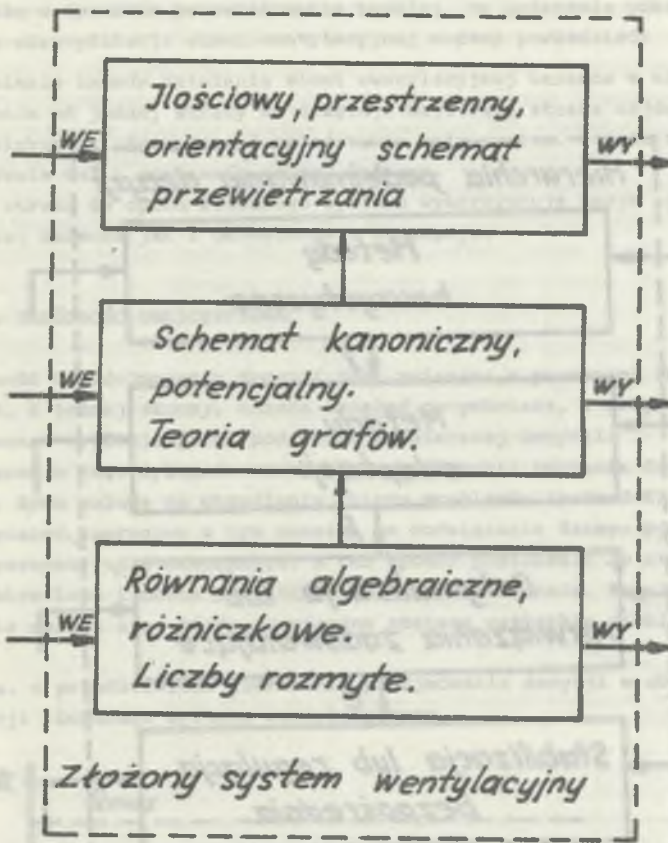
Podstawowy dylemat zawarty jest w poszukiwaniu kompromisu pomiędzy prostotą opisu, co związane jest ze zrozumieniem zasad działania systemu, a niezbędną dokładnością i koniecznością uwzględniania wielu charakterystyk złożonego systemu. Rozwiązanie tego dylematu proponuje się poprzez hierarchizację opisu. Złożony system opisuje się zbiorem modeli, które przedstawiają system z punktu widzenia różnych poziomów abstrakcji. Dla wyróżnienia koncepcji hierarchizacji opisu wprowadza się pojęcie "straty".

System wentylacyjny proponuje się opisać za pomocą trzech strat (rys. 3).

W stracie 1 do opisu ruchu powietrza w wyrobisku wykorzystuje się równania algebraiczne i różniczkowe uwzględniające wymianę energii cieplnej z górotworem a także zmiany jego wilgotności. Również wielkość charakteryzująca oporność wyrobiska - na skutek zaciskania, zamulania lub zanieczyszczenia, zmiany kształtu - jest trudna do precyzyjnego określenia. W wielu przypadkach możemy tylko w przybliżeniu - nieprecyzyjnie - podać wielkość oporności.

Do odwzorowania nieprecyzyjnych wielkości można zastosować liczby rozmyte z określonymi funkcjami przynależności.

Do odwzorowania struktury sieci wentylacyjnej w strefie 2 wykorzystuje się założenie o istnieniu podobieństwa izomorficznego sieci rzeczywistej i jej schematu kanonicznego. Ma on na celu przejrzyste przedstawienie systemu przewietrzania, ułatwia analizę oraz wszelkie obliczenia. Na schemacie tym omawia się miejsca umieszczenia wentylatorów głównych i pomocniczych, ich depresje, kierunki prądów, pola eksploatacyjne, tamy regulacyjne oraz ewentualnie opory bocznic. Odnosnie oporu bocznic należy zauważyć, że do sieci należą wyrobiska celowo wykonane, jak i powstałe samoistnie w caliznie, zrobach lub podsadźce. Problem właściwego odwzorowania struktury sieci wentylacyjnej, zawierającej wyrobisko nie w pełni zlikwidowane, rozwiązano

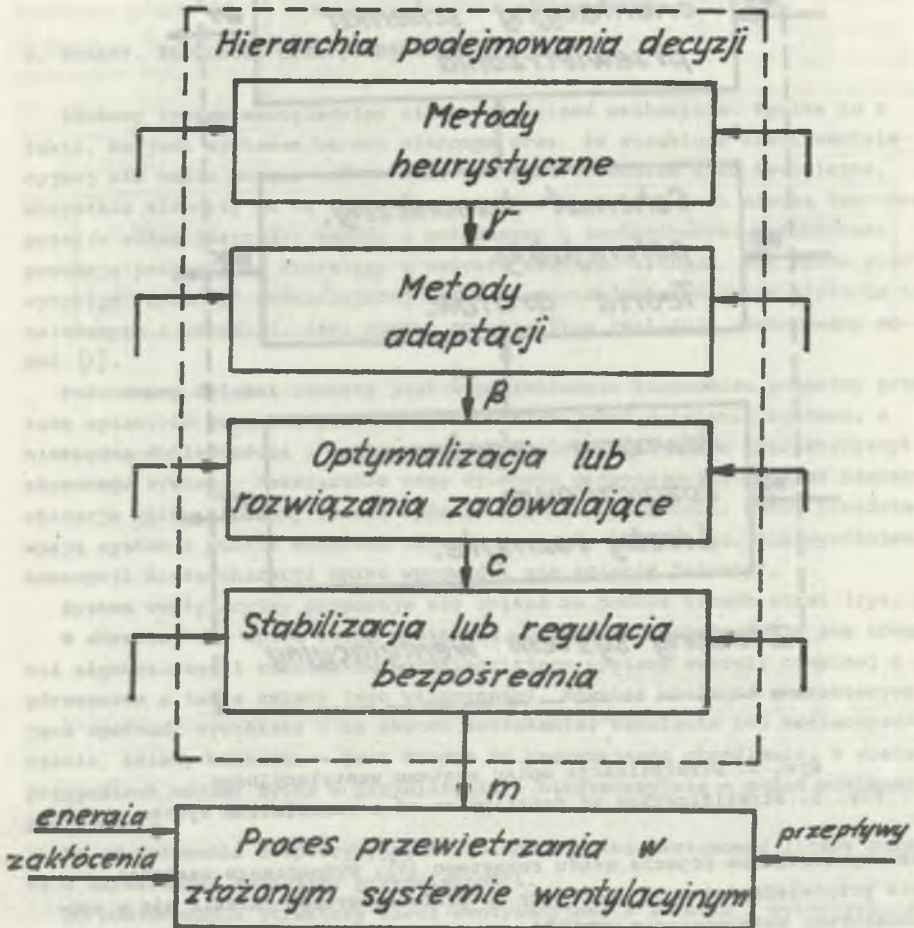


Rys. 3. Stratyfikacja opisu systemu wentylacyjnego

Fig. 3. Stratification of description of a ventilation system

poprzez wprowadzenie pojęcia grafu rozmytego [1]. Wyznaczanie wartości stopnia przynależności danej bocznicy do grafu rozmytego określa się w sposób obiektywny uwzględniając wartość oporu aerodynamicznego. Reasumując, do odwzorowania struktury sieci wentylacyjnej można zastosować pojęcia grafu zdeterminowanego lub też grafu rozmytego. Stosowanie mniej lub bardziej dokładnego modelu jest uzależnione od postanowionego zadania i wymaganej dokładności.

W stracie 3 stosuje się poglądowe metody przedstawienia sposobu przewietrzania kopalni. W celu przejrzystego przedstawienia ilości powietrza przepływającego przez poszczególne bocznice czy też całe rejony wentylacyjne stosuje się schemat ilościowy. Schemat przestrzenny ułatwia ogólne zorien-



Rys. 4. Wielosłojowa hierarchia podejmowania decyzji

Fig. 4. Multistratum hierarchy of making decisions

towanie się w sposobie przewietrzania kopalni. Na podstawie pobieżnego przeglądu stratyfikacji sieci wentylacyjnej możemy powiedzieć:

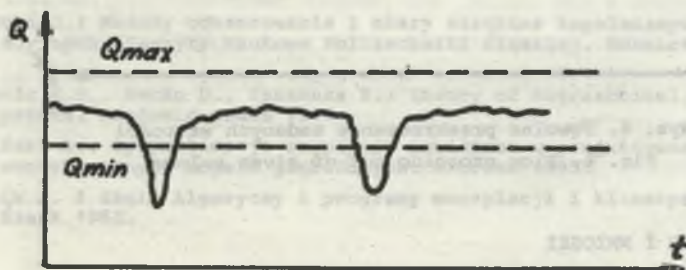
- a) zrozumienie zasady działania sieci wentylacyjnej wzrasta w miarę przechodzenia od jednej straty do drugiej. Najniższa strata najdokładniej, z największą ilością detali przedstawia cały system. Strata najwyższa uzmysławia cel i znaczenie całego systemu.
- b) każda strata do oporu złożonego systemu wykorzystuje swoje specyficzne pojęcia, zmienne jak i określenia i koncepcje.

3. SŁOJE. ZŁOŻONOŚĆ OBLICZENIOWA

Złożoność w podejmowaniu decyzji jest związana z procesami znajdowania rozwiązań. Z jednej strony, trzeba działać natychmiast, z drugiej - chcemy lepiej poznać sytuację przed podjęciem ostatecznej decyzji.

Rozwiązanie tego dylematu szuka się w hierarchii podjęcia decyzji - słowach [2]. Idea polega na określeniu zbioru problemów (podzadań), które należy rozwiązać szeregowo w tym sensie, że rozwiązanie danego podzadania określa parametry dla następnego. W ten sposób podzadanie to staje się całkowicie określone i można przystąpić do jego rozwiązania. Rozwiązanie całego zadania osiąga się, kiedy rozwiązane zostaną wszystkie problemy (podzadania).

Na rys. 4 przedstawiono hierarchię podejmowania decyzji w obliczeniach i regulacji złożonego systemu wentylacyjnego.



Rys. 5. Chwilowe przekroczenie zadanych wartości

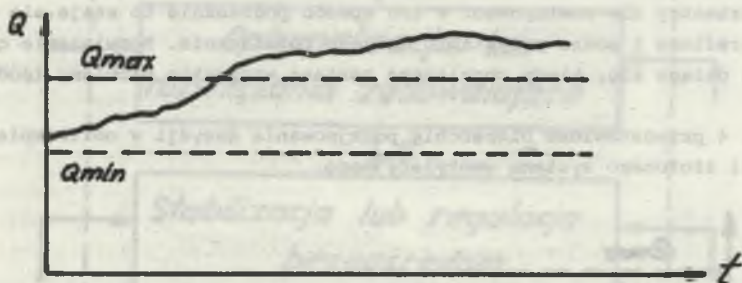
Fig. 5. Temporary crossing out of given values

W słoju pierwszym (stabilizacji lub sterowania bezpośredniego) odbywa się ustalanie wejść regulujących "m" tak, aby wyjścia, tj. przepływy w wybranych bocznicach były zgodne z wielkością zadania "c". Zadaniem tej warstwy jest reagowanie na chwilowe przekroczenia dopuszczalnych wartości przepływu poza obszar sprawności (rys. 5). Przyczyną zakłócenia może być chwilowe otwarcie tamy, przejazd pociągu itd.

W słoju drugim (optymalizacji lub rozwiązań zadowalających) dokonuje się wyznaczania wejść zadanych "c" na podstawie zadanego kryterium, znanej reprezentacji zakłóceń i algorytmu o stałej strukturze. Warstwa ta określa położenie i szerokość obszaru sprawności dla obserwowanych przepływów. Wektor zmiennych parametrów "B" zadaje się z warstwy wyższej (np. wartości oporów bocznic). Obliczenia optymalizacji mogą być zrealizowane w regularnych lub nieregularnych odcinkach czasu.

W trzecim słoju (adaptacji) określa się, na podstawie analizy zakłóceń w długich odcinkach czasu, wektor parametrów "B". W sieci wentylacyjnej na skutek powolnych, sumujących się procesów starzeniowych (rys. 6) - w przypadku wyrobisk - na ich zaciskaniu, zamulaniu, kontrolowany przepływ powoli opuszcza obszar sprawności. Należy temu przeciwdziałać poprzez adaptacyjne dostrajanie parametrów regulatorów. Działania adaptacyjne odbywają się wg algorytmów o stałej strukturze (najczęściej analizy statystycznej), z nastawialnym wektorem parametrów.

W słoju czwartym podejmuje się decyzje strukturalne wychodząc z założeń techniczno-ekonomicznych. Określa się wektor parametrów dla warstwy niższej.



Rys. 6. Powolne przekroczenie zadanych wartości

Fig. 6. Slow crossing out of given values

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Potraktowanie systemu wentylacyjnego, jako złożonego systemu o hierarchicznej strukturze może okazać się bardzo wygodne.

- a. Dla podsieci lokalnych można zastosować bardziej dokładne modele przepływu powietrza uwzględniające wymianę energii cieplnej z górotworem a także zmianę wilgotności. Można również zastosować schemat kanoniczny rozmyty dla przedstawienia np. pola pożarowego. Dla podsieci nadrzędnej, zawierającej przede wszystkim bocznicę z grupowymi prądami powietrza, można zastosować modele uproszczone (schemat kanoniczny zdeterminowany).

- b. Pracochłonność i koszt realizacji obliczeń naturalnego czy też wymuszonego przepływu powietrza w sieci wentylacyjnej jest wypukłą funkcją ilości zmiennych regulujących, a liniową funkcją ilości zmiennych obserwowalnych (przepływów). Poczynając od określonego momentu koszt realizacji obliczeń można zmniejszyć poprzez wprowadzenie dekompozycji sieci wentylacyjnej na podsieci i wprowadzenie dwupoziomowej struktury. Oczywiście w analizie należy uwzględnić koszt realizacji zadania koordynacji, które powinno być maksymalnie uproszczone.
- c. Przeprowadzając wielowariantowe obliczenia symulacyjne, w modelu systemu wentylacyjnego sieci zmienia się wartości depresji wentylatorów głównych i pomocniczych a także wartości oporności tam regulacyjnych. Jeżeli ingeruje się w parametry bocznic o lokalnym znaczeniu, zmiany w wartościach przepływów mają również lokalny charakter i tylko w niewielkim stopniu wpływają na sąsiednie podsieci. Wystarczy więc przeliczyć tylko podsieć obserwowalną i jej najbliższe otoczenie. Czas realizacji tego typu obliczeń jest o wiele krótszy w stosunku do czasu przeliczania całej sieci wentylacyjnej.
- d. Proces podejmowania decyzji związanych z ingerencją, duży system wentylacyjny jest z natury rzeczy wielostopniowy. Sformułowanie tego procesu poprzez zastosowanie hierarchicznych algorytmów może okazać się wygodne a nawet niezbędne.

LITERATURA

1. Sułkowski J.: Metody odwzorowania i miary struktur kopalnianych sieci wentylacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z. 115 1982.
2. Merarovic M.D., Macko D., Takahara Y.: Theory of hierarchical, multilevel, systems. Academic press 1970.
3. Strumiński A.: Optymalizacja przepływów powietrza w projektowanych sieciach wentylacyjnych kopalń głębinowych. Wrocław 1985.
4. Wacławik J. i inni: Algorytmy i programy wentylacji i klimatyzacji kopalń. Śląsk 1983.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Józef Sułkowski

Wpłynęło do Redakcji w lutym 1987 r.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ

Резюме

Сложную систему, какой несомненно является система проветривания шахты, трудно описать и охарактеризовать простым и однозначным способом. Нас интересуют два аспекта проблемы:

- а/ уровень абстрагирования, т.е. описания системы проветривания,
- б/ сложность получения результатов вычислений, т.е. сложность в принятии решений.

Основная дилемма заключается в нахождении компромисса между простотой описания, а точностью и необходимостью учёта многочисленных поведенческих характеристик сложной системы. Разрешение этой дилеммы ищется в иерархическом описании математических модели.

Чтобы отличить эту концепцию иерархии от других вводится понятие "страты", а сложную систему проветривания описываем в трёх стратах.

Сложность принятия решений есть прочно связана с процессами поиска решений задач. Идея иерархического подхода в принятии решения связана с определением множества проблем, которые надо решить последовательным путём в том смысле, что решение любой подзадачи из этой последовательности определяет параметры в следующей проблеме.

Решение первоначальной проблемы достигается тогда, когда будут решены все частные подзадачи. Такую иерархию будем называть иерархией "слоев" принятия решений.

HIERARCHICAL CLASSIFICATION OF THE VENTILATION
SYSTEM IN A MINE

S u m m a r y

Hierarchisation of description of multilevel mathematical models is proposed as a method to solve the basic dilemma of finding a compromise between the simplicity of description and accuracy together with considering many characteristics of a complex ventilation system in a mine.

Two aspects are interesting:

- a) abstraction level of ventilation system description,
- b) calculations complexity or decisions taking complexity.

The concept of "stratum" is introduced to distinguish the proposed method. Complex ventilation system is proposed to be described in three strata.

The complexity of decisions taking is strictly associated with finding solutions to given problems.

The matter of hierarchisation idea is to define a set of problems to be solved in series, so that the solution of one problem defines parameters for another. A solution of complete task is found when all subtasks are solved.

The concept of "stratum" is especially useful in solutions hierarchisation process.