

Академік НАН України А.Ф. Булат,  
кандидати техн. наук Т.В. Бунько,  
І.Є. Кокоулін  
(ІГТМ НАН України)  
д-р техн. наук Б.В. Бокій  
(ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»)  
канд. техн. наук І.О. Ященко  
(Міненерговугілля України)

## **МЕТОДОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ МЕРЕЖ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ, ЩО ПРОЕКТУЮТЬСЯ**

Предложена методика автоматизированного выбора рациональных параметров вентиляционных систем угольных шахт, включающих зоны с неопределенной структурой и аэродинамическими параметрами, учитывающая возможность безремонтного поддержания горных выработок

## **METHODOLOGY OF THE AUTOMATED CHOICE OF RATIONAL PARAMETERS OF THE PROJECTED VENTILATION NETWORKS OF COAL MINES**

The method of the automated choice of rational parameters of the ventilation systems of coal mines including areas with an indefinite structure and aerodynamic parameters and calculated possibility of repairless maintenance of the mountain makings is offered

У сучасних умовах, коли гірничі роботи ведуться на великих глибинах в умовах підвищеної метанонасиченості та температури, проектування шахти взагалі, та її вентиляційної системи зокрема, значно ускладнюється. Фактор невизначеності багатьох параметрів раніше на приймався до уваги (вважалося, що проектування проводиться для стандартних умов переміщення повітря по гірничих виробках – стабільній температурі, вологості, вмісту пилу), оскільки питання конкретного коригування вентиляційного режиму планувалося в умовах діючої шахти. Зараз відношення до питань проектування вентиляції докорінно змінюється. Необхідно заздалегідь закладати у проектні рішення врахування параметрів провітрювання в складних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах. Тому на порядок денний поставлено впровадження у практику роботи проектних організацій Міненерговугілля України сучасних інформаційно-аналітичних технологій проектування вентиляційних систем. Хоча проектувальники давно користуються ПЕОМ для проведення проектних вентиляційних розрахунків, організація роботи, на яку спрямовані вимоги Гірничого Закону України [1], не закріплена існуючими правовими та нормативно-методичними документами; багато з них застаріли і потребують коригування. Такий стан проблеми призвів до того, що проектні організації вимушені користуватись методичним та програмним забезпеченням вентиляційних розрахунків, розробленими на різному науково-технічному рівні. Це призводить до виробки різних за якістю рішень щодо проектування вентиляційних систем (ШВС; якщо при про-

ектуванні не враховуються вентилятори головного провітрювання (ВГП) – використовується аббревіатура ШВМ), і, як наслідок, – до можливого погіршення у майбутньому, після вводу шахти до експлуатації, стану безпеки праці. В документах [2-4] відсутні відомості про методичне забезпечення інформаційно-аналітичних технологій та використання ПЕОМ під час проектування вентиляційних систем вугільних шахт. Нормативні документи, націлені на вирішення проблем вдосконалення вентиляційних розрахунків, в Україні відсутні. Тому перегляд чинних документів з безпеки праці, який сприятиме більш ефективному вибору вентиляційних параметрів елементів шахт, які проектуються, є актуальним.

Методика автоматизованого вибору раціональних параметрів ШВС призначена для визначення раціонального повітророзподілу у складних багатовентиляторних системах, місць встановлення регулюючих пристроїв, величин їх аеродинамічного опору та режимів роботи [5].

Визначення оптимальних аеродинамічних параметрів ШВС під час проектування складається в створенні мережі, здатної забезпечувати об'єкти провітрювання необхідною кількістю повітря протягом проектного періоду при мінімумі сумарних зведених витрат і дотриманні вимог ПБ.

Вихідними даними при проектуванні ШВС із урахуванням розвитку гірничих робіт є плани ведення гірничих робіт, аеродинамічні опори існуючих виробок (при реконструкції), прогнозовані значення опорів знов створюваних виробок, типорозміри ВГП та їхні режимні характеристики, необхідні витрати повітря в об'єктах-споживачах, дані про топологію ШВС.

Під час проектування необхідно визначити основні параметри ШВС - перетин гірничих виробок і типорозміри ВГП, що забезпечують необхідний потік розподіл в об'єктах провітрювання протягом проектного періоду. Режими функціонування ШВС, закладені при проектуванні, уточнюються на стадії планування вентиляції діючих шахт із використанням методів оптимізації потік розподілу.

Методика орієнтована на автоматизовані методи збереження (у базі даних) та обробки даних.

З метою виконання робіт, передбачених цією методикою, проектувальник повинен бути забезпечений відповідним приміщенням, обладнанням, апаратурою, засобами обчислювальної техніки, програмним забезпеченням, матеріалами згідно переліку мінімального технічного оснащення. При цьому приміщення повинно бути оснащене охоронною сигналізацією.

Результати розрахунку раціонального повітророзподілу у ШВС, яка проектується, оформлюються у вигляді пояснювальної записки до проекту ШВС

#### *Складання розрахункової схеми*

Складання розрахункової схеми повинно полягати у відображенні схеми вентиляції або схеми плану гірничих робіт у вигляді однолінійної розрахункової схеми вентиляції, яка складається з вузлів та гілок.

При складанні розрахункової схеми на основі плану гірничих робіт проводиться спрощення схеми, яка копіює з'єднання виробок шахти, а також добав-

лення гілок, які зображують витoki повітря через вироблений простір та вентиляційні споруди. Слід проводити тільки очевидні спрощення, дотримуючись при цьому наступних правил:

- одну виробку слід ділити на ряд послідовних віток тільки у тому випадку, якщо ця виробка вміщує ділянки з різним перетином;
- виробки або шляхи витоків повітря слід відображати окремими гілками, якщо у них згідно з нормативними документами слід подавати визначену кількість повітря;
- шляхи витоків повітря через вироблений простір слід задавати окремою гілкою;
- схеми провітрювання тупикових виробок повинні відображатися у розрахунковій схемі з урахуванням місця забору повітря, місця його викиду та шляху витoku повітря через перемичку, або враховуватись завданням потрібної кількості повітря у місці встановлення вентилятора місцевого провітрювання (ВМП) з урахуванням коефіцієнта запасу. Тупикову виробку на розрахункову схему наносити не треба;
- усі гілки, які провітрюються відособлено, та витoki повітря через вентиляційні споруди повинні бути відмічені на розрахунковій схемі.

#### *Кодування розрахункової схеми*

Конфігурація розрахункової схеми повторює конфігурацію з'єднань виробок плану гірничих робіт або схеми вентиляції.

При кодуванні розрахункової схеми слід дотримуватись наступних вимог:

- першими слід кодувати вузли мережі, послідовно пересуваючись зліва та зверху униз або зверху униз та зліва направо;
- кодування гілок також слід вести у визначеній послідовності, але при цьому бажано проводити нумерацію таким чином, щоб гілка з номером  $n+1$  була інцидентна гілці з номером  $n$ .
- вузлу, який умовно відображає атмосферу, приписується номер 1. С цим вузлом необхідно зв'язати фіктивними гілками усі вузли входу та виходу повітря у вентиляційній мережі. Для фіктивних гілок слід задавати тільки їх код. Усі інші вузли мережі нумеруються, починаючи з другого номера. Допускається пропуск номерів вузлів та гілок.

#### *Початкові дані.*

ШВС повинна бути представлена при проведенні вентиляційних розрахунків у вигляді графа  $G(X, U, \kappa)$ , тобто зображена у вигляді точок (вузлів – множина  $X$ ) і ліній (гілки – множина  $U$ ), що з'єднують ці вузли;  $\kappa$  – період проектування.

Кодом вітки, у якості якого приймається впорядкована трійка чисел  $n, i, j$ , де  $n$  – номер гілки, що з'єднує вузли  $i$  і  $j$ . Сукупність кодів всіх віток мережі являє собою список кодів (СК).

Повна сума приведених витрат за весь термін функціонування системи виглядає як:

$$\begin{aligned} \Pi = E_n \sum_{k=1}^N \frac{\sum_{(i,j) \subset U_{x,k}} c(i,j,k) L^3(i,j,k) \Delta S(i,j)}{(1 + E_{n,n})^{a_k}} + \\ + \sum_{k=r}^N \frac{\sum_{(i,j) \subset U_{x,k}} k(i,j,k) L^3(i,j,k) + \sum_{(i,j) \subset U_{b,k}} m_k Q(i,j,k) H(i,j,k)}{(1 + E_{n,n})^{a_k}}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $c(i,j,k)$ ,  $k(i,j,k)$  - відповідно вартість проведення і підтримки 1 погонного метру виробки  $(i,j)$  у  $k$ -тому періоді;

$L^3(i,j,k)$  - довжина виробки  $(i,j)$  у  $k$ -тому періоді для розрахунку витрат на її проведення і підтримку;

$m_k$  - вартість 1 кВт/год електроенергії в  $k$ -тому періоді;

$U_{x,k}$  - підмножина виробок з перетинами, які оптимізуються, що існують у  $k$ -тому періоді;

$\Delta S(i,j)$  - збільшення перетину виробки  $(i,j)$ , виконане по фактору вентиляції,  $m^2$ :

$$\Delta S(i,j) = S(i,j) - S^{min}(i,j), \quad (3)$$

$S(i,j)$  - площа поперечного перетину виробки  $(i,j)$ , є загальною для всіх періодів,  $m^2$ ;

$S^{min}(i,j)$  - мінімальний перетин виробки  $(i,j)$ , обумовлений розмірами транспортних засобів,  $m^2$ .

*Фізичні обмеження* на параметри: закони розподілу повітря в ШВМ (4), (5), (6);

а) вузлові рівняння

$$\sum_{(i,j) \subset U_{l,k}} Q(i,j,k) = 0, \quad l = 1, m_k, \quad k = 1, N; \quad (4)$$

б) контурні рівняння

$$\begin{aligned} \sum_{(i,j) \subset U_{\mu,k}} (\text{sign}(Q(i,j,k)) R(i,j,k) Q^2(i,j,k) \pm h_e) - \sum_{(i,j) \subset (U_{\mu,k} \cap U_{b,k})} H(i,j,k) = 0, \\ \mu = 1, n_k - m_k + 1, \quad k = 1, N \end{aligned} \quad ; \quad (5)$$

в) закономірність, яка пов'язує геометричні параметри гірничих виробок та їх аеродинамічний опір

$$R(i,j,k) = \frac{\alpha(i,j,k) L^d(i,j,k)}{S^{2,5}(i,j,k)}, \quad (i,j) \subset U_{x,k}, \quad k = 1, N; \quad (6)$$

*Технологічні обмеження* на параметри, які оптимізуються:

а) дискретність перетинів у типовому ряду (9), (10)

$$S_f^{\min}(i, j) \leq S(i, j) \leq S_f^{\max}(i, j), \quad (i, j) \in U_x; \quad (7)$$

$$S_f \in \{S_f^{\min}, S_2, \dots, S_f^{\max}\}, \quad f = 1, F; \quad (8)$$

б) обмеження на можливі місця установки регуляторів і їхні аеродинамічні опори

$$R(i, j, k) \leq R(i, j, k) + \Delta R(i, j, k) \leq R^{\max}(i, j, k), \quad (i, j) \in U_{DR, k}, \quad k = 1, N, \quad (9)$$

в) робоча область ВГП описується сімейством характеристик (10), а також іншими вимогами до елементів ШВМ, обумовленими Правилами технічної експлуатації вугільних шахт і ПБ;

$$H(i, j, k) = a(i, j, k) - b(i, j)Q(i, j, k), \quad (i, j) \in U_{b, k}, \quad k = 1, N; \quad (10)$$

*Режимні обмеження:*

а) що регламентують розміри витрат повітря в об'єктах провітрювання (11)

$$Q(i, j, k) = \text{const}, \quad (i, j) \in U_{o, k}, \quad k = 1, N; \quad (11)$$

б) максимально припустимі витрати повітря у вітках, які підводять і відводять повітря (12)

$$V(i, j, k) \leq V^{\max}(i, j, k), \quad (i, j) \in U_k, \quad k = 1, N; \quad (12)$$

в) подачу і напір ВГП (13)

$$a^{\min}(i, j) \leq a(i, j, k) \leq a^{\max}(i, j), \quad (i, j) \in U_{b, k}, \quad k = 1, N; \quad (13)$$

г) максимально можливий розмір загальношахтної депресії:

$$H(i, j, k) \leq H_{\text{норм}}, \quad (i, j) \in U_{b, k}, \quad k = 1, N; \quad (14)$$

де  $U_{l, k}$  - підмножина гілок, інцидентних  $l$ -тому вузлу в  $k$ -тому періоді;

$U_{\mu, k}$  - підмножина гілок, що належать  $\mu$ -тому незалежному контуру в  $k$ -тому періоді;

$U_{x, k}$  - підмножина гілок з перетинами, що оптимізуються у  $k$ -тому розрахунковому періоді;

$U_{DR, k}$  - підмножина віток, у яких можлива установка регуляторів у  $k$ -тому розрахунковому періоді;

$f$  - номер типового ряду перетинів;

$F$  - кількість типових рядів перетинів;  $n_k$  - кількість вузлів ШВМ у  $k$ -тому періоді;

$m_k$  - кількість віток у  $k$ -тому періоді;

$h_e$  - величина природної тяги, що діє в  $\mu$ -тому незалежному контурі;

$a(i,j,k)$ ,  $b(i,j)$  - коефіцієнти апроксимації характеристик ВГП  $(i,j)$  у  $k$ -тому розрахунковому періоді;

$a^{min}(i,j)$ ,  $a^{max}(i,j)$  - границі зміни коефіцієнтів апроксимації характеристик ВГП  $(i,j)$ , є загальними для всіх розрахункових періодів;

$L(i,j,k)$  - довжина виробки  $(i,j)$  у  $k$ -тому періоді, м;

$L^d(i,j,k)$  - довжина виробки  $(i,j)$  у  $k$ -тому розрахунковому періоді при розрахунку депресії, м;

$Q(i,j,k)$  - витрата повітря у вітці  $(i,j)$  у  $k$ -тому періоді, м<sup>3</sup>/с;

$S_f^{min}$ ,  $S_f^{max}$  - відповідно мінімальна і максимальна площі поперечного перетину виробки типового ряду з номером  $f$ , м<sup>2</sup>;

$V(i,j,k)$ ,  $V^{max}(i,j,k)$  - відповідно розрахункова і максимально можлива швидкість повітря у виробці  $(i,j)$  у  $k$ -тому періоді, м/с;

$\alpha(i,j,k)$  - коефіцієнт аеродинамічного опору вітки  $(i,j)$  у  $k$ -тому періоді;

$R(i,j,k)$ ,  $\Delta R(i,j,k)$ ,  $R^{max}(i,j,k)$  - відповідно аеродинамічні опори виробки  $(i,j)$ , встановленого в ній регулятора і максимально можливий опір цієї вітки (визначається типом встановленого в ній регулятора) у  $k$ -тому періоді, од. СІ.

Довжина виробки протягом одного періоду в даній постановці задачі використовується для розрахунку депресії і витрат на проведення і підтримку гірничої виробки. При цьому слід притримуватися таких правил:

1) для виробок із незмінною довжиною при розрахунку депресії і витрат на проведення і підтримку задається їхня власна довжина;

2) для виробок із довжиною, що змінюється, при розрахунку депресії довжина задається осередненим розміром:

$$L^d(i,j,k) = (L^n(i,j,k) + L^{max}(i,j,k)) / 2,$$

де  $L^n(i,j,k)$ ,  $L^{max}(i,j,k)$  - відповідно початкова і максимальна довжина виробки  $(i,j)$  у  $k$ -тому періоді;

3) для виробок однакового технологічного призначення, які послідовно проходяться протягом даного періоду і відображених у розрахунковій схемі одною гілкою, при розрахунку депресії задається їхня максимальна довжина, довжина для розрахунку витрат на проведення і підтримку визначається по формулі:

$$L^3(i,j,k) = k_p L^{max}(i,j,k), \quad (15)$$

де  $k_p$  - коефіцієнт, що відображає кількість виробок даного типу, які характеризуються на протязі всього розрахункового періоду однаковими параметрами (довжиною, кількістю повітря, кріпленням і т.п.)

Вихідні дані визначають раціональні площі перетину гірничих виробок, місця установки і розміри аеродинамічних опорів регулюючих пристроїв, режими роботи ВГП, які забезпечують споживачів у кожному розрахунковому періоді потрібною кількістю повітря при мінімальній вартості спорудження ШВС.

**Методика автоматизованого вибору раціональних параметрів вентиляційних мереж вугільних шахт, які проектуються.**

*Структурно-параметричний аналіз ШВС.*

Оскільки методика вводиться вперше і містить ряд принципово нових, не розповсюджених у системі Міненерговугілля України, понять, на етапі структурно-параметричного аналізу мережі вони пояснюються.

Множина віток  $k$ -того квазістабільного періоду може бути поділена на такі складові, що різняться по своєму функціональному стану: джерела депресії (ВГП)- множина віток  $U_{b,k}$ , мережа, призначена для транспортування свіжого повітря до об'єктів провітрювання - множина віток  $U_{c,k}$ ; відособлено провітрювані об'єкти - множина віток  $U_{o,k}$ , мережа, призначена для відводу відпрацьованого струменя на поверхню - множина віток  $U_{u,k}$ . Топологічні зв'язки і аеродинамічні параметри елементів цих множин використовуються при формуванні фізичних обмежень (рівнянь балансу витрат повітря і депресій) у постановці задачі оптимізації аеродинамічних параметрів ШВМ, що проектується.

*Основний споживач* - це гілка ШВМ, у якій потрібно підтримувати задану витрату повітря. До цих гілок відносяться лави, камери, прохідницькі вибої, виробки, які підтримуються.

*Додатковий споживач* - витік повітря через вироблені простори, вентиляційні споруди, підсоси на ВГП. Витрата повітря у цих гілках визначається розрахунком або за результатами моделювання. Задана витрата повітря у гілках основних і додаткових споживачів визначає режимні обмеження на параметри проектованих ШВМ, які оптимізуються.

На підставі дослідження взаємозв'язку аеродинамічних параметрів у ШВМ можуть бути виділені такі топологічні структури.

*Головний розтин*  $U_{R,k}$  мережі об'єднує множини основних і додаткових споживачів, виключення яких із загальної множини гілок розділяє граф, що відображає  $k$ -тий розрахунковий стан, на дві незв'язні компоненти, відповідно призначені для транспортування свіжого  $U_{c,k}$  і відпрацьованого  $U_{u,k}$  струменя повітря. Коректним виділенням множини  $U_{R,k}$  із загальної множини гілок  $U_k$  у технологічній постановці задачі оптимізації ШВМ, що розвиваються, враховується різне функціональне значення гілок, призначених для транспортування свіжого і відпрацьованого повітря.

*Маршрут*  $M(m,l,k)$ - множина гілок, що зв'язують вузли поверхні і включаючи обов'язково тільки один відособлено провітрюваний споживач  $(m,l,k)$  і один ВГП у  $k$ -тому періоді.

Умовно - послідовною підмережею об'єкту провітрювання є об'єднання маршрутів, яке являє собою множину гілок, які беруть участь в організації його провітрювання.

Багатополіусником  $M_k(X_k^M, U_k^M)$  є ділянка ШВС, яка з'єднується з базовим підграфом декількома полюсами, де  $X_k^M$  – множина вузлів,  $U_k^M$  – множина гілок  $k$ - того багатополіусника.

Базисним багатополіусником є базовий підграф, одержаний в результаті об'єднання гілок і вузлів умовно-послідовної підмережі основних об'єктів провітрювання, тобто відображає основні шляхи руху повітря у ШВС.

У  $k$  – тий багатополіусник  $M_k(X_k^M, U_k^M)$  включаються гілки, початкові вузли яких оконтурюють зону з невизначеною структурою. Оконтурюючі вузли можуть входити до підмережі, яка транспортує свіже повітря, або до підмережі, яка транспортує витікаюче повітря.

Полюсами або зовнішніми вузлами багатополіусника є вузли, видалення яких розрізає схему на незв'язні частини, які оконтурюють зону, що відображається.

Багатополіусник з базовою точкою є з'єднанням, в якому всі депресії гілок визначаються щодо деякого базисного вузла, який знаходиться зовні багатополіусника.

На першому етапі проектувальник формує можливий варіант схеми провітрювання. Розроблена схема провітрювання кодується й піддається структурно-параметричному аналізу. При визначенні організації провітрювання шахти для одного розрахункового періоду необхідно попередньо розбити всі гілки ШВС на множини:  $U_c$ ,  $U_o$ ,  $U_p$ ,  $U_u$ .

Вихідними даними для аналізу структури ШВС є відомості про топологію ШВС і номери відособлено провітрюваних споживачів.

*Розрахунок базового повітророзподілу у ШВС.*

Для кожного розрахункового періоду  $G_k(X_k, U_k, t_k)$  з використанням методу розрахунку оптимального поточкорозподілу у ШВС визначається мінімально необхідний рівень загальшахтної депресії, який забезпечує заданий поточкорозподіл у об'єктах провітрювання.

Для визначення мінімального рівня депресії, необхідного для забезпечення заданих витрат повітря в об'єктах провітрювання (вітках головного розрізу), вирішується система рівнянь (4), (5), (11) з урахуванням залежності (6). При цьому можуть бути порушені наступні обмеження на аеродинамічні параметри ШВС: режимні - нерівності (13), (14); технологічні - нерівність (9).

Отримане рішення є **базовим рішенням** задачі оптимального поточкорозподілу. При цьому передбачається, що регулятори можуть бути встановлені у відособлено і послідовно провітрюваних об'єктах (базові регулятори); величина їхніх аеродинамічних опорів не обмежена, депресія базових регуляторів позитивна і хоча б для одного з них дорівнює нулю; регулятори у підмережах, які підводять і відводять повітря, відсутні. Таким чином, у базовому рішенні напір ВГП визначає депресію критичного маршруту.



За результатами цього розрахунку формуються множини умовно – послідовних підмереж відособлено провітрюваних об'єктів. Сумарна депресія виробок маршруту критичного об'єкту провітрювання визначає напір ВГП.

Цей маршрут є критичним, жодна з частин цього маршруту не містить регулятора. Зниження рівня депресії необхідно, якщо порушені нерівності (13) і (14), і здійснимо двома способами:

- негативним регулюванням (збільшенням аеродинамічного опору виробок шляхом установки регуляторів);
- позитивним регулюванням (зменшенням аеродинамічного опору виробок шляхом розширення їх перетинів).

Слід зазначити, що при виконанні другого етапу враховуються технологічні обмеження на місця встановлення і величини аеродинамічних опорів регулюючих пристроїв (9).

*Вибір раціональної площі поперечного перетину виробок ШВС за фактором вентиляції.*

Зниження депресії позитивним регулюванням виконується послідовним розширенням перетинів виробок з використанням мультиграфа, який відображує розвиток гірських робіт.

На мультиграфі  $L(X,U)$  визначаються виробки, що входять в умовно-послідовні підмережі з перевищенням нормованого рівня загальшахтної депресії.

Депресія шахти знижується до припустимого рівня збільшенням перетинів цих виробок при мінімально можливих витратах на їхнє проведення й підтримку.

Після цього перетини виробок вважаються визначеними, і для кожного періоду виконується розрахунок оптимального поточкорозподілу з врахуванням технологічних (9) і режимних (13), (14) обмежень.

Поточкорозподіл під час оптимізації аеродинамічних параметрів ШВС з урахуванням розвитку гірничих робіт визначається незалежно для кожного розрахункового періоду, а перетини виробок однакові у всіх періодах, у яких вони існують.

*Вибір раціональної площі поперечного перетину виробок ШВС за фактором вентиляції з урахуванням можливості їх безремонтного підтримання.*

Для цього необхідно на величину деформації контуру виробки збільшити початкову площу поперечного перетину виробки, що вимагається за умовами транспорту і вентиляції.

Всі проектовані гірничі виробки, в яких можливе безремонтне підтримання, підрозділяються на характерні групи, у яких безремонтне підтримання виробок можна забезпечити зміною їх перетинів. Проведення всіх виробок із завищеним перетином є невиправданим через високі додаткові капітальні витрати на їх проведення. Тому вибір таких виробок за чинником вентиляції повинен бути цілеспрямованим; вони повинні належати маршрутам, які містять основні повітроподаючі та вентиляційні виробки. Повинні бути враховані якісні і кількісні обмеження щодо параметрів виробок з безремонтним підтриманням під

час параметричної оптимізації ШВС, оскільки вони змінюють приведені витрати на проведення, підтримання і провітрювання гірничих виробок.

У зв'язку з цим задача параметричної оптимізації ШВС з невизначеною структурою та параметрами зводиться до мінімізації цільової функції приведених витрат з урахуванням безремонтного підтримання гірничих виробок.

Запропоновано показник  $P = (\Delta k_n - \Delta c_{эл} - c_э)$ , чисельне значення якого відображає приведені витрати на

$$\text{проведення } \Delta k_n = E_n \sum_{k=1}^n \frac{\sum_{(i,j) \in U_{x,k}}^l k(k,i,j) L(k,i,j) \Delta S(k,i,j)}{(1 + E_{nn})^{a_k}},$$

$$\text{провітрювання } C_{эл} = \sum_{k=1}^n \frac{\tau_k c_k \sum_{(i,j) \in U_{x,k}} R(k,i,j) |Q(k,i,j)|^3}{(1 + E_{nn})^{a_k}} \text{ виробок з безремонтною підтримкою,}$$

$$C_э = \sum_{k=1}^n \frac{\sum_{(i,j) \in U_{k_x}} c(i,j) L(i,j) S(i,j)}{(1 + E_{nn})^{a_k}} - \text{витрати на підтримку гірничих виробок,}$$

який може вважатися критерієм ефективності використання технології безремонтного підтримання виробок.

Проведення деяких виробок із завищеним перетином дозволить підвищити надійність провітрювання об'єктів за рахунок забезпеченості їх необхідними витратами повітря на весь термін експлуатації шахти, а також одержати економічний ефект за рахунок відсутності експлуатаційних витрат на підтримання і зменшення витрат на провітрювання таких виробок.

#### *Структурно-параметричний аналіз ШВС.*

Підсистема аналізу структури проекрованої ШВС у інтерактивному режимі виконує аналіз варіантів організації провітрювання вугільної шахти на базі раніше введених основних понять: маршрути, підмережі, розрізи і т.д. Такий підхід дозволяє не тільки істотно підвищити ефективність програм, але й знаходити помилки в структурі організації провітрювання. Із цією метою користувачеві надається ряд альтернативних процедур:

- аналіз організації провітрювання вугільної шахти на підставі вихідних даних;

- аналіз параметрів ШВС за результатами моделювання засобами підсистеми інженерних розрахунків;

- контроль топології ШВС, призначений для виявлення помилок при кодуванні гірських виробок, шляхів витоків повітря.

Аналіз організації провітрювання вугільної шахти призначений для:

- виявлення і усунення кількісних протиріч під час завдання витрат повітря у виробках ШВС;

- виявлення відособлено й послідовно провітрюваних об'єктів;

- визначення списку гілок, що реалізують спільну роботу ВГП на вихідному струмені повітря;

- визначення відповідності споживачів ВГП.

При аналізі потокової структури й кількісних характеристик ШВС за результатами моделювання виявляються:

- порушення в зміні напрямку руху повітря у гілках воздухоподаючої і відводячої повітря підмереж (однойменні діагоналі);

- порушення режимів провітрювання відособлено і послідовно провітрюваних об'єктів;

- порушення обмежень на мінімальну й максимальну швидкість повітря у виробках.

На основі викладених задач проектування було розроблено нормативно-методичний документ «Методичні вказівки щодо автоматизованого вибору раціональних аеродинамічних параметрів вентиляційних систем вугільних шахт, які проектуються», який включає основні визначення, методи рішення задач, найбільш типові схеми провітрювання ділянок і топологічних структур, які їх відображають. Окрім цього, у додатки до документу включені відомості про технологічну схему проектування ШВС, можливі суперечності в початкових даних і способи їх усунення, а також:

- приклад побудови розрахункової схеми вентиляції;

- класифікацію типів багатополосників [6];

- приклад розрахунку критеріїв оптимальності у проєктованій ШВС [5];

- приклад розрахунку природної тяги у ШВС [7, 8];

- приклад пояснювальної записки до проєкту ШВС і рекомендації по її складанню.

Перша редакція розробленого документу передана на розгляд та узгодження зацікавленим інстанціям.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Гірничий закон України». ВР України; Закон от від 06.10.1999 № 1127-XIV Електронний ресурс. Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/go/1127-14.

2. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах: Затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62.- Київ: 2010. – 2154 . (Нормативний документ Мінвуглепрому України).

3.Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: ДНАОП 1.1.30-6.09.93. – К.: Основа, 1994.- 311с.

4. СОУ10.1-00185790-002-2005 Правила технічної експлуатації вугільних шахт. – Київ: Мінвуглепром України, 2006.- 354с.

5. Использование компьютерных технологий при проектировании вентиляции угольных шахт / В.И. Полтавец, А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, А.М. Малкин. - Луганск – Днепропетровск: Норд-Пресс, 2003. – 343 с.

6. Бокий Б.В. О формализованном инвариантном способе описания нелинейными многополосниками зон шахтной вентиляционной сети с неопределенными структурой и аэродинамическими параметрами / Б.В. Бокий, Т.В. Бунько // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. - С. 264-274.

7. Оксень Ю.И. Анализ движения воздуха в горных выработках с учетом влияния тепломассообмена / Ю.И. Оксень // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 1998. – № 2. – С. 33-37.

8. Оксень Ю.И. О дополнительной естественной тяге, возникающей вследствие работы вентилятора / Ю.И. Оксень // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во Московского государств. горн. ун-та, 1999. – № 7. – С. 198-200.

Академик НАН Украины А.Ф. Булат,  
канд. техн. наук В.В. Круковская,  
д-р техн. наук А.П. Круковский,  
канд. техн. наук В.В. Зберовский  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЫБРОСОПАСНЫЕ УГОЛЬНЫЕ ПЛАСТЫ**

Виконано чисельне моделювання зв'язаних нестационарних процесів зміни НДС гірського масиву та двофазної фільтрації рідини і газу з метою дослідження впливу гідроімпульсної дії на вугільний пласт. Наведено розподіли геомеханічних та фільтраційних параметрів під час застосування технології гідроімпульсної дії. Виконано порівняння розрахункових та експериментальних даних.

## **NUMERICAL SIMULATION OF HYDROIMPULSIVE IMPACT ON OUTBURST COAL SEAM**

Numerical modeling of coupled non-stationary processes of change SDS rock massif and two-phase liquid and gas flow in order to investigate the influence of hydroimpulsive impact on the coal seam is executed. The distributions of geo-mechanical and filtration parameters during application of hydroimpulsive impact technology are presented. The comparison of the calculated and experimental data is executed.

### **Введение и постановка задачи.**

В практике ведения горных работ для снижения концентрации напряжений и предотвращения газодинамических явлений применяются различные способы воздействия на краевую часть углепородного массива. Считается, что на неразгруженных горными работами угольных пластах наиболее эффективными являются способы нагнетания жидкости, в частности гидроимпульсное и гидродинамическое воздействие, и бурения опережающих скважин. В условиях больших глубин технология применения этих способов находится в стадиях разработки и совершенствования.

Следует отметить, что несмотря даже на относительно небольшой опыт применения этих способов на глубинах более 900 м, они имеют высокую эффективность. Вместе с тем, при принятии новых технических решений для обоснования рациональных технологических параметров в конкретных горно-геологических условиях, необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований.

Повысить надежность и обоснованность принятия таких решений возможно с помощью имитационного моделирования технологических процессов и процессов, происходящих в забое горной выработки при гидроимпульсном воздействии. Для их теоретического описания необходимо объединить в единую связанную систему следующие дифференциальные уравнения, описывающие изменение во времени параметров:

- напряженного состояния углепородного массива вокруг выработки;
- фильтрации жидкости, нагнетаемой в угольный пласт;
- фильтрации метана, содержащегося в трещинно-поровом пространстве.