

Академік НАН України А.Ф. Булат,
кандидати техн. наук
Т.В. Бунько, І.Є. Кокоулін
(ІГТМ НАН України)
канд. техн. наук І.О. Яценко
(Міненерговугілля України)

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ З НЕВИЗНАЧЕНИМИ СТРУКТУРОЮ ТА АЕРОДИНАМІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Разработаны методологические основы расчета вентиляционных систем угольных шахт с неопределенными структурой и аэродинамическими параметрами для условий глубоких метанообильных шахт

METHODOLOGICAL BASIS CALCULATION OF VENTILATION SYSTEMS WITH INDEFINITE BY STRUCTURE AND AERODYNAMIC PARAMETERS

Methodological bases of calculation of the ventilation systems of coal mines with indefinite by a structure and aerodynamic parameters for the conditions of deep methane-abundant mines are developed.

Актуальною науковою проблемою залишається розвиток теорії і методів розрахунку вентиляційних систем з невизначеною структурою і аеродинамічними параметрами. Вказана проблема включає цілий ряд задач, а саме: обґрунтування комплексного критерію структурно-параметричної адекватності, формалізованого інваріантного способу відображення неконтрольованих зон шахтних вентиляційних систем (ШВС) нелінійними багатоплюсниками, встановлення закономірностей формування областей керованості і управління в складних багатовентиляторних ШВС, і упровадження інформаційно-аналітичних технологій вентиляційних розрахунків, рішення яких має важливе значення для створення безпечних і здорових умов праці у вугледобувній галузі.

У нинішній час основними діями по керуванню аерогазовим режимом шахт є рудникова вентиляція. При цьому необхідно враховувати те, що параметрів, які необхідні для моделювання функціонування вентиляційної системи у нормальних та аварійних режимах завжди недостатньо – їх просто неможливо вимірити у потрібному обсязі у ході повітряно-депресійних зйомок (ПДЗ). Тому потрібна розробка спеціальних методів розрахунку вентиляційних параметрів в умовах недостатньої і не досить достовірної інформації про стан ШВС. При цьому треба враховувати той факт, що на глибоких метанових шахтах виникають і проблеми комплексної дегазації вугільних пластів і вміщуючих порід, а при наявності великого метановиділення – не тільки викиду надлишків метану засобами вентиляції, але і його використання, як цінного альтернативного виду палива.

На порядку денному стоять наступні задачі:

1) розробити комплексний критерій структурно - параметричної адекватності вентиляційних систем в умовах невизначеності даних;

2) розробити формалізований інваріантний спосіб відображення зон ШВС з невизначеними структурою і аеродинамічними параметрами нелінійними багатополіусниками;

3) встановити закономірності формування зон управління і керованості в багатовентиляторних шахтних системах та обґрунтувати методи структурної і параметричної ідентифікації вентиляційних систем вугільних шахт із слабо обумовленою топологією;

4) обґрунтувати методи розрахунку раціонального повітророзподілу у ШВС і вибору ефективного базису регулюючих пристроїв під час визначення технічних можливостей шахти по чиннику вентиляції в умовах невизначеності критеріїв оптимізації, які використовуються;

5) обґрунтувати методи керування витоками метаноповітряної суміші з виробленого простору лави з метою оптимізації системи газовідсмоктування у нормальних та аварійних режимах провітрювання.

Під час переходу на великі глибини у мережі з'являються зони обвалення гірських порід, обводнені виробки, неявні аеродинамічні зв'язки між горизонтами, що обумовлює необхідність розробки теорії розрахунку ШВС з невизначеною топологією і параметрами. ІГТМ НАН України вперше запропонована класифікація теорій та областей використання методів розрахунку ШВС з погляду задач, що вирішуються, яка включає теорію управління нею в умовах невизначеності вирішуваних задач: проектування вентиляційних систем і їх складових частин; планування та аналізу функціонування існуючих систем; інженерного аналізу та обробки інформації щодо стану вентиляційних систем. ШВС можна відображати об'єктами з розсередженими, зосередженими параметрами і невизначеною топологією і аеродинамічними параметрами. Елементи з розсередженими параметрами використовуються під час моделювання аеродинамічних параметрів вентиляції видобувної ділянки. Під час розрахунків вентиляції, як системи, використовуються, як правило, моделі з зосередженими параметрами.

Як методологія досліджень ШВС можуть бути вибрані теорія графів, методи чисельної оптимізації систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, методи пошуку рішень в умовах невизначеності, діакоптичні методи розрахунку складних мережних об'єктів по частинам, методи потокового програмування, дискретно - подійні моделі прийняття рішень.

Ефективна методика проектування у окремому випадку, коли задача проектування ШВС є детермінованою, дозволяє визначати єдине оптимальне рішення. У випадку, коли задача проектування є багатокритеріальною і проектування чи перспективного планування ведеться в умовах невизначеності вхідних даних, необхідно забезпечити участь проектувальника або технолога шахти в процесі пошуку рішень і гарантувати тим самим однозначний вибір рішення за критерієм адекватності.

Критерії структурно-параметричної адекватності в рішенні задач розрахунку вентиляційних мереж зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 - Критерії структурно-параметричної адекватності

Найменування критерію	Аналітичний вираз	Границі чисельних значень
Топологічна адекватність		
1	Топологічна подібність $\lambda(G_m, G_u) = \frac{\vec{G}_m}{\vec{G}_u}$	Відношення топологічної подібності
2	Структурна подібність $\lambda(G_m, G_u) = \frac{ U'_o }{n_{ou}}$	Відношення структурної подібності
3	Функціональна подібність $\lambda(G_m, G_u) = \frac{\mu(U_o^m)}{\mu(U_o^u)}$	Відношення функціональної подібності
Параметрична адекватність		
4	Витрата повітря $\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^q)^2} (Q(i, j) - Q^*(i, j))^2$	Співвідношення між розрахунковим і вимірним значеннями
5	Депресія $\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^h)^2} (H(i, j) - H^*(i, j))^2$	Співвідношення між розрахунковим і вимірним значеннями
6	Аеродинамічний опір $\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^r)^2} (R(i, j) - R^*(i, j))^2$	Співвідношення між розрахунковим і істинним значеннями

При внесенні збурень у гілку ШВС, які реалізуються зміною її аеродинамічного опору, необхідно використовувати критерії параметричної групи; при внесенні топологічних змін в ШВС (при перевірці її адекватності ММ) слід використовувати критерії як топологічної, так і параметричної груп. Використовування максимального значення критеріїв за витратою повітря, депресії та аеродинамічному опору виробки може бути використано для вилучення явно невірних результатів ПДЗ.

ШВС глибоких метанових шахт включають зони, які не контролюються (зони обводнення, обвалення та недоступні ділянки вентиляційних виробок, які

не підтримуються). Запропонований ІГТМ НАН України підхід заснований на представленні окремих елементів мережі у вигляді багатополісників, які мають декілька виходів (полісів), за допомогою яких вони з'єднуються з іншими ланцюгами мережі; рівняння вузлового і контурного балансу описуються такими багатополісними, можуть бути складені тільки на підставі даних про витрати повітря і розподіл тиску на полісах багатополісника і не залежать від його внутрішньої структури.

Значення введення визначення багатополісника в теорію розрахунків ШВС полягає в тому, що детально розроблені методи перетворення і спрощення ШВС з метою скорочення її топологічної розмірності не можуть бути застосовані для відображення зон з присутністю неявних аеродинамічних зв'язків, які необхідно відобразити під час побудови розрахункової схеми ШВС, яка часто містить декілька ВГП, оскільки в них використовувалися прийоми, що ще ускладнюють невизначеність самої ШВС.

Нами вперше запропоновані: формалізований інваріантний спосіб відображення неконтрольованих зон ШВС нелінійними багатополісниками; класифікація багатополісних структур, що включає поняття багатополісників з базовою точкою, діакоптичного, двостороннього, класифікаційними ознаками яких є: спосіб підключення, розмірність, топологія, задачі відображення [9].

Метод розв'язання задачі структурної ідентифікації для випадку ШВС з невизначеною структурою викладений у роботах [3,4]. Задача структурної ідентифікації на першому етапі полягає в тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж, не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умов мінімізації критеріїв перетворення мережі.

Другою задачею структурної ідентифікації є визначення множини основних і додаткових споживачів при частково заданому головному розрізі ШВС.

Як метод рішення цієї задачі може бути прийнятий метод аналізу взаємодії множини окремих структур - підмереж споживачів. Аналіз проводиться для всіх окремих топологічно певних структур (тупиковий вузол, цикл і т.ін.), виходячи з вимог, які пред'являються до припустимої структури ШВС в цілому.

В ІГТМ НАН України вперше сформульована і розв'язана задача параметричної ідентифікації ШВС з невизначеними аеродинамічними параметрами, яка полягає в оцінці вірогідності значень витрат повітря на всіх ділянках мережі та тиску у всіх вузлах мережі на підставі зміни тільки деяких із цих змінних. У результаті рішення задачі за розрахунковими або експериментальними даними визначаються значення аеродинамічних опорів, розподілу депресій і витрат повітря у всіх виробках ШВС, що задовольняють мережним законам.

Геометричні параметри гірничих виробок (площа перетину, довжина) і стан виробки постійно змінюються. Запропонований нами метод показує, що оперативний збір інформації про аеродинамічні параметри ШВС можна робити шляхом максимального скорочення кількості виробок, у яких необхідно

проводити виміри, а точність і вірогідність отриманої інформації можна істотно підвищити шляхом обробки її на ПЕОМ.

Математична постановка задачі ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВС та метод її рішення докладно викладено у роботі [7]. У ній вперше сформульована і вирішена задача параметричної ідентифікації ШВС з невизначеною структурою і аеродинамічними параметрами, що дозволило під час розв'язання задач аналізу і перспективного планування провітрювання забезпечити побудову адекватної математичної моделі (ММ) ШВС за наслідками часткових анемометричної і депресійної зйомок.

Проектні рішення орієнтуються, як правило, на стандартні умови розробки вугільного родовища: типову глибину залягання пластів, їхню орієнтовну потужність, кут падіння, температурні та кліматичні умови ведення гірничих робіт, певні типи прохідницької та виїмкової техніки, типові перетини та умови кріплення гірничих виробок, графік відпрацьовування лав, тип і потужність використовуваних ВГП і т. ін. У зв'язку із складністю отримання такої кількості параметрів не завжди буде забезпечене необхідне навантаження на очисний вибій. Виникає завдання визначення, з метою оперативного керування та перспективного планування вентиляції, можливого, з обліком реально виявлених відхилень від проектних значень, витрат повітря в об'єктах провітрювання з метою наступного коригування значень навантаження на очисні вибої.

Для вдосконалення методів проектування вентиляційних систем з урахуванням безремонтного підтримання виробок необхідно знати величину деформації навколишніх порід (контуру виробки) і на цю величину збільшувати початкову площу поперечного перетину виробки, що вимагається за умовами транспорту і вентиляції.

Всі спроектовані гірські виробки, в яких можлива безремонтна підтримка, підрозділяються на характерні групи, в яких безремонтну підтримку виробок можна забезпечити зміною їх перетинів. Проведення всіх виробок із завищеним перетином є невиправдано великим через високі додаткові капітальні витрати на їх проведення. Тому вибір таких виробок за чинником вентиляції повинен бути цілеспрямованим. Такі виробки належать маршрутам з основними повітроподаючими та вентиляційними виробками. У зв'язку з цим задача параметричної оптимізації ШВС з невизначеною структурою та параметрами зводиться до мінімізації цільової функції приведених витрат з урахуванням безремонтної підтримки гірських виробок. Досліджені якісні та кількісні обмеження на параметри виробок з безремонтною підтримкою та структура витрат на їх проведення і підтримку. За умов підтримки всі виробки можна розділити на такі групи:

- 1) виробки, що не змінюють свою довжину за весь термін служби (хідники при ухилах і бремсбергах та ін.);
- 2) виробки, що змінюють свою довжину при поступовому погашенні або проведенні (ярусні та поверхові штреки та ін.);

3) виробки, що змінюють свою довжину окремими ділянками (бремсберги, ухили та ін.).

У постановці задачі з урахуванням безремонтної підтримки виробок повинні враховуватись режимні та технологічні обмеження на параметри ШВС.

Класифіковані можливі суперечності в початкових даних, які з'являються при виконанні вентиляційних розрахунків, і приведені способи їх усунення.

Вдосконалені методи вибору раціональних аеродинамічних параметрів ШВС під час проектування в умовах невизначеності критеріїв оптимальності, які відрізняються використанням областей управління ВГП у ШВС, адаптивні до ходу оптимізаційного процесу і дозволяють визначати оптимальні режими роботи ВГП з урахуванням областей їх промислового використання і вимог Правил безпеки, виявляти виробки ШВС, які реалізують аеродинамічний зв'язок ВГП на вихідному струмені повітря і визначати раціональну величину аеродинамічного опору цих виробок;

Нами вперше запропоновані комплексний критерій структурно-параметричної адекватності та формалізований інваріантний опис зон ШВС з невизначеними структурою і аеродинамічними параметрами та встановлені закономірності формування областей керованості ШВС і управління ВГП і на їх основі розроблені методи структурно-параметричної ідентифікації і комплексної оптимізації аеродинамічних параметрів в складних багатовентиляторних системах, що дозволило розробити нормативно-методичне і програмне забезпечення розрахунку вентиляційних систем вугільних шахт з невизначеною структурою і аеродинамічними параметрами, які мають важливе значення для створення безпечних умов праці у вугледобувній галузі.

Важливими є і такі аспекти.

1) збільшення глибини відпрацювання виймальних стовпів підвищують необхідність комплексної дегазації лав та їх виробленого простору. Багато робіт присвячено цій проблемі [1,2,5,6-8 та ін.]. Основні моменти направлені на відвід надлишків метаноповітряної суміші за межі виймальної ділянки і далі на поверхню засобами вентиляції. Однак під час цього не враховується належність на ділянці кількості метану підвищеної концентрації, яка, з одного боку, створює можливість samozапалювання, а з другого – можливість використання альтернативного палива. При цьому потрібно враховувати неможливість підтримування вентиляційних виробок і необхідність проходження додаткових (людських ходків) для відведення залишкової кількості повітря на вентиляційний струмінь і далі на поверхню;

2) під час відпрацювання виймочного стовпа по схемі провітрювання 2В (прямоточного без підсвіжування) виникає можливість скопичення метану у кутках лави з підвищеною концентрацією, що може викликати аварійну ситуацію (вибух). Тому важливою задачею є розробка методів організації встановлення відростків вакуум - насосної системи у точках вентиляційної виробки, які забезпечують його видалення засобами вентиляції з підвищенням системи ведення гірничих робіт;

3) в межах системи провітрювання виймальної ділянки є три зони метановиділення: перша – на виході з лави (метану там найменше), друга – на відстані 20-300 м. від лави, яка відпрацьована (там найбільша кількість метану, яка виділяється з виробленого простору), і третя – в умовах невідтримуваної частини вентиляційної виробки. Важливою є розробка методики пошуку точки встановлення місця засобів газовідсмоктування, яка б забезпечувала найбільш ефективне провітрювання виймальних ділянок;

4) в умовах відпрацювання довгого виймального стовпа (більше 1000-1200м) виникають проблеми зі зміною схеми провітрювання, пов'язаною зі погашенням не відтримуваної вентиляційної виробки; потрібна схема провітрювання, яка пов'язана з проведенням додаткових виробок (льдських ходків, схема 1-К). Це – міняє схему вентиляції; додаткові витрати повітря відводяться іншим шляхом.;

5) надлишкові витрати метану повинні утилізуватись – викиди їх у атмосферу шкідливі для околиць середовища – це очевидний факт. Є багато робіт щодо використання промислового метану, як альтернативного палива [1 та ін.], однак важливою залишається задача: де потрібно відбирати метан з вугільних родовищ з метою його ефективного збагачення і використання у промислових умовах;

6) на глибоких метанових шахтах залишається важливою проблема виникнення аварій (пожеж всіх типів, викидів, самозапалення вугілля, метану та вугільного пилу). Поки що це – об'єктивна реальність, її ліквідувати не можна, тому необхідно розроблювати міри по їх ліквідації. Це - ПЛА та міри щодо використання системи протиаварійного захисту шахти.

Соціальний ефект запропонованих рішень визначається впровадженням сучасних інформаційних технологій на вугільних підприємствах, яке підвищує культуру виробництва, сприяє залученню до роботи у вугільній галузі висококваліфікованих фахівців і створює умови для використання сучасних автоматизованих систем проектування, моніторингу та управління виробництвом, а також підвищує безпеку та покращує умови праці гірників.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Повышение эффективности проветривания угольных шахт с высоконагруженными лавами / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий [и др] – Днепропетровск: Норд-Пресс, 2004.- 264 с.
2. Совершенствование вентиляции и дегазации угольных шахт / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий [и др] – Днепропетровск: Норд-Пресс, 2005. – 216 с.
3. Булат А.Ф. Шахтная вентиляционная сеть как объект идентификации /А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Уголь Украины. – 2002. - № 11. – С. 25-27.
4. Булат А.Ф. Структурная идентификация шахтной вентиляционной сети / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Уголь Украины. – 2004. - № 1. – С. 31-35.
5. Бунько Т.В. К вопросу анализа достоверности определения аэродинамических параметров горных выработок / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, Л.А. Новиков // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2004. – Вып. 50. - С. 244-252.
6. Булат А.Ф. Методология поиска рациональных параметров шахтной вентиляционной системы в условиях неопределенности / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин. - Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 56. - С. 3-8.
7. Бунько Т.В. Метод идентификации вентиляционных сетей с неопределенными аэродинамическими параметрами / Т.В. Бунько // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 57. - С. 233-238.

8. Бунько Т.В. Учет неопределенности топологических и аэродинамических параметров вентиляционных систем при расчете технических возможностей шахты по вентиляции / Т.В. Бунько // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 63. - С. 200-206.

9. Бокий Б.В. О формализованном инвариантном способе описания нелинейными м ногополосниками 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.

УДК 553.981.622.324.5

исполнительный директор Green Gas International в странах СНГ
Богдан Ласак,
региональный руководитель Green Gas International в странах СНГ
Анатолий Смирнов,

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ МЕТАНА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНОГО МЕТАНА В УКРАИНЕ НА ОСНОВЕ ЧЕШСКОГО ОПЫТА

Процес видобутку вугілля призводить до виділення метану з вугільних пластів і з пластів прилеглих порід через системи вентиляції та дегазаційних трубопроводів. Метан має величезний потенціал як енергоносіє, одночасно, це непередбачуваний своєю поведінкою газ, що ускладнює його вилучення і використання. Потрапляючи в атмосферу, метан негативно впливає на мікроклімат вугільних регіонів. Кожен день на українських шахтах задаються питаннями: як максимально ефективно витягти метан і забезпечити безпеку? Чи можна отримати максимум прибутку та мінімум шкоди?

PREVENTION OF METHANE EMISSIONS AND USE OF COAL MINE METHANE IN UKRAINE BASED ON THE CZECH EXPERIENCE

The process of coal mining leads to release methane from coal seams and the surrounding rock strata through the ventilation system and gas drainage pipelines. Methane has great potential as a source of energy and at the same time release of methane is unpredictable and it makes difficult to extract and use it. Once methane gets into the atmosphere it affects negatively on the environment of coal regions. Every day different questions are being asked at the Ukrainian mines: how to extract methane most effectively and to ensure safety? Could we get the maximum profit with minimum harm?

Сегодня на большинстве действующих шахт в Украине ШМ частично или полностью выбрасывается в атмосферу, несмотря на то, что он считается вредным парниковым газом с потенциалом глобального потепления (ПГП) 21 т СО₂екв/т.

Совершенствование методов ведения дегазации и технологии утилизации ШМ имеет огромное значение для деятельности угольного предприятия по 4м ключевым причинам:

1) Экологический вред

Метан является парниковым газом, в этом отношении, более сильным, чем углекислый газ, из-за наличия глубоких вращательных полос поглощения его молекул в инфракрасном спектре. Метан так же имеет негативное влияние на местную экологию. В случае, когда метан попадает в подвалы или жилые здания, это может привести к взрывам или отравлению людей.