

ЗАВАДСКАЯ Т.В. (ДонНТУ)

## К РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Схемы проветривания выемочных участков (СПВУ) являются важным фактором обеспечения безопасности труда шахтеров. В работе [1] предложена методика вывода уравнений аэрогазодинамических процессов в СПВУ как объектах контроля, управления и прогноза. Рассмотрим вопросы разработки математических моделей схем проветривания выемочных участков с учетом горно-технических условий конкретной шахты.

Выбор схем проветривания выемочных участков производится с учетом газообильности пластов, нагрузки на забой, выбросоопасности, самовозгораемости угля [2,3]. Ниже представлены схемы проветривания, применяемые на добычных участках шахты им. А.Ф.Засядько и их технологическая характеристика. На второй квартал 2007 года на шахте работали 4 добычных участка, разрабатывающие пласты  $m_3$ ,  $l_1$ ,  $l_4$ ,  $k_8$ . Каждый из участков разрабатывал отдельный пласт.

Участок №1 (3 западная лава) производил добычу с пласта  $l_4$ . Длина лавы – 250м. Мощность пласта – 1,0м. Крезь – “ДМ”, комбайн – УКД 200/250. Средний расход воздуха, подаваемый на выемочный участок – 1496 м<sup>3</sup>/мин. Среднесуточная нагрузка – 3825т [4]. Схема проветривания лавы – прямоточная на выработанное пространство. Тип схемы проветривания 2-В-Н-в-вт [2].

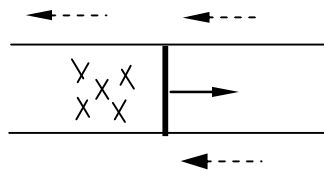


Рис.1 Тип схемы проветривания 2-В-Н-в-вт [2].

Участок №2 (17 западная лава) разрабатывал пласт  $m_3$ , “Александровский”, марка Ж. Длина лавы – 270м. Мощность пласта – 1,78м. Крезь – 3КД-90, комбайн – 1ГШ-68. Средний расход воздуха, подаваемый на выемочный участок – 1655м<sup>3</sup>/мин. Среднесуточная нагрузка – 3272т [4]. Схема проветривания лавы – возвратноточная на массив.

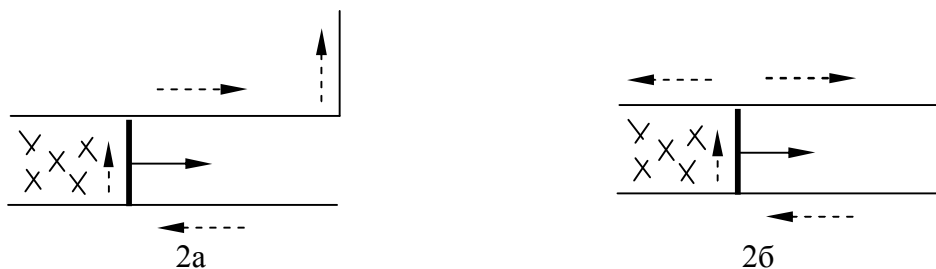


Рис.2а Тип схемы проветривания 1-М-Н-в-вт (первый период);

Рис.2б Тип схемы проветривания 1-К-Н-в-вт (второй период – при доработке лавы на последних 50 метрах) [2].

Участок №4 (12 восточная лава) производил добычу с пласта  $k_8$ . Длина лавы – 250м. Мощность пласта – 0,98м. Крезь – “ДМ”, комбайн – УКД 200/250. Средний расход воздуха, подаваемый на выемочный участок: первый период – 950м<sup>3</sup>/мин; второй период – 1641 м<sup>3</sup>/мин; третий период – 843 м<sup>3</sup>/мин. Среднесуточная нагрузка – 2963т [4]. Схема проветривания лавы изменяются на протяжении работы: первый период – комбинированная независимая восходящая прямоточная; второй период – независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство с частичным разбавлением примесей; третий период – независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство с последовательным разбавлением примесей.

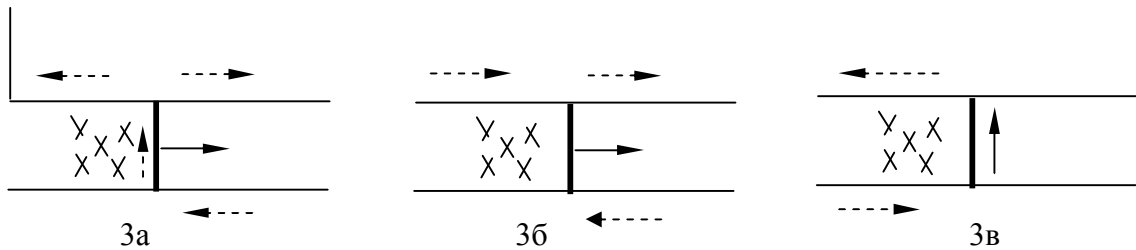


Рис.3а Тип схемы проветривания 1-К-Н-в-пт (первый период);

Рис.3б Тип схемы проветривания 2-В-Н-в-вт (второй период);

Рис.3в Тип схемы проветривания 1-В-Н-в-вт (третий период) [2].

Участок №7 (13 восточная лава) разрабатывал пласт  $l_1$ , “Семеновский”, марка Ж. Длина лавы – 240м. Мощность пласта – 1.69м. Крезь – ЗКД-90, комбайн – 1ГШ-68. Средний расход воздуха, подаваемый на выемочный участок: первый период – 1350м<sup>3</sup>/мин; второй период – 1897 м<sup>3</sup>/мин; третий период – 1897м<sup>3</sup>/мин. Среднесуточная нагрузка: в первый период – 1000т; в остальные периоды – 2000т [4]. Схема проветривания лавы изменяются на протяжении работы: первый период – независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство; второй период – независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство с частичным разбавлением примесей; третий период – комбинированная независимая восходящая прямоточная; четвертый период – возвратноточная на массив.

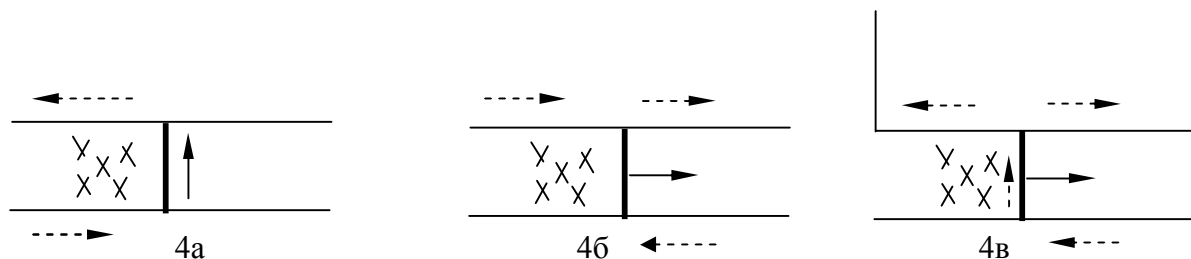


Рис.4а Тип схемы проветривания 1-В-Н-в-вт (первый период);

Рис.4б Тип схемы проветривания 2-В-Н-в-вт (второй период);

Рис.4в Тип схемы проветривания 1-К-Н-в-пт (третий период);

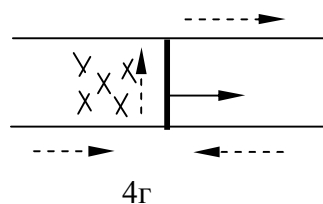


Рис.4г Тип схемы проветривания 1-М-Н-в-пт (четвертый период)[2].

По классификации [1] применяемые схемы проветривания могут быть представлены структурными схемами первого (участки №№ 2, 4(первый и третий периоды), 7(первый, третий и четвертый периоды)) и второго типа (участок №№1, 2(второй период), 7(второй период)).

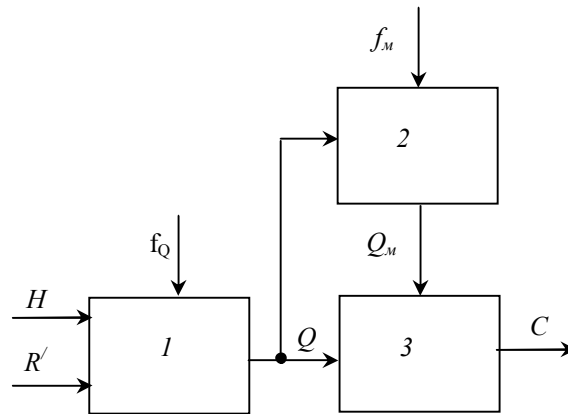


Рис. 5 Структурная схема проветривания первого типа

Элемент 1 — это откаточный штрек, лава и вентиляционный штрек, а также выработанное пространство, утечки через которое влияют на динамику воздухораспределения и на установившиеся значения расходов.  $H$  — депрессия участка;  $R'$  — регулируемое сопротивление;  $Q$  — расход воздуха на участке;  $f_Q$  — обобщенное аэродинамическое возмущение. Элемент 2 включает в себя выработанное пространство, лаву и другие источники метановыделения;  $f_m$  — возмущения по дебитам метана;  $Q_m$  — суммарный дебит. Элемент 3 — это исходящая струя с концентрацией метана  $C$ .

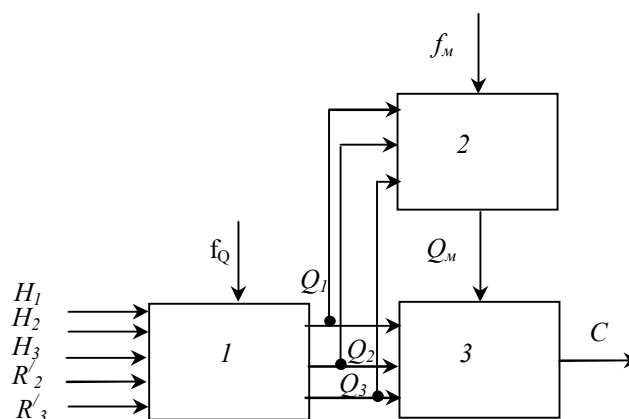


Рис. 6 Структурная схема проветривания второго типа

$Q_1$  — расход воздуха в откаточном штреке;  $Q_2$  — расход во второй свежей струе;  $Q_3$  — расход в исходящей струе. Регулируемые сопротивления  $R'_2$ ,  $R'_3$  соответствуют расходам воздуха  $Q_2$ ,  $Q_3$ , при этом имеется в виду, что в откаточном штреке регулируемые сопротивления устанавливаться не будут [1].

Для вывода системы уравнений, которая описывает модели схем проветривания выемочных участков указанных типов, необходимо записать уравнения для каждого

элемента структур СПВУ. Динамика движения воздуха по выработкам выемочного участка (элемент №1 на рис.5,6) описывается уравнением [1]:

$$K_{yч} \frac{dQ}{dt} + R_{yч} * Q^2 + R' * Q^2 = H_{yч}, \quad (1)$$

где  $K_{yч} = K \frac{R_{yч}}{R}$ ;  $K = \rho_v \left( \frac{L_{ош}}{S_{ош}} + \frac{L_{л}}{S_{л}} - \frac{L_{вш}}{S_{вш}} \right)$  — суммарный коэффициент инерционности

воздушного потока;  $\rho_v$  — плотность воздуха;  $R_{yч}$  вычисляется по формуле:

$R_{yч} = r_o(L_o - l_1 + l_1 * k_1) + k_1^2(R_{вх} + R_{вых}) + r_l * k_l * L_l + r_v(L_v - l_2 + l_2 * k_1)$ , где  $r_o$ ,  $r_l$ ,  $r_v$  — удельные сопротивления откаточного штрека, лавы и вентиляционного штрека;  $L_o$ ,  $L_l$ ,  $L_v$  — длины откаточного штрека, лавы и вентиляционного штрека;  $k_1$ ,  $k_l$  — доставочные коэффициенты;  $R_{вх}$ ,  $R_{вых}$  — местные сопротивления;  $l_1$ ,  $l_2$  — длины, на которых проявляются утечки;  $R = R_{ош} + R_{л} + R_{вш} + R_m$  — суммарное аэродинамическое сопротивление штреков, лавы с учетом местного сопротивления  $R_m$ .

Динамику изменения дебита метана в выработанном пространстве при изменениях режима проветривания выемочного участка (элемент №2 на рис.5,6) характеризует уравнение:

$$A \frac{dQ_m}{dt} + Q_m = Q_{ом} + B * R_{\phi} \frac{d(Q * Q)}{dt}, \quad (2)$$

где  $A$ ,  $B$  — газодинамические параметры участка.  $A = \frac{V_{п}}{C_{\phi} * S_{\sigma} * P_{ом}}$ ;  $B = \frac{V_{п}}{P_{ом}}$ ;

$C_{\phi} = \frac{k}{\mu * \Delta n}$ , где  $C_{\phi}$  — коэффициент фильтрации;  $k$  — коэффициент проницаемости

верхней части выработанного пространства;  $\mu$  — динамический коэффициент вязкости метана;  $\Delta n$  — шаг аппроксимации по нормали;  $V_{п}$  — объем пустот в верхней части выработанного пространства;  $S_{\sigma}$  — площадь поверхности фильтрации;  $S_{\sigma} = L_l * l_{ш}$ , где  $L_l$  — длина лавы;  $l_{ш}$  — длина штрека, где есть утечки;  $P_{ом}$  — давление метана в

установившемся режиме;  $R_{\phi} = \frac{R_{yч} - r_v(L_v - l_1) + r_o(L_o - l_1(1 - k_1))}{2}$ , где  $R_{yч}$  —

сопротивление участка;  $r_v$  — удельное сопротивление вентиляционного штрека;  $L_v$  — длина вентиляционного штрека;  $l_1$  — длина, на которой появляются утечки;  $r_o$  — удельное сопротивление откаточного штрека;  $k_1$  — доставочный коэффициент.

Газодинамические процессы в элементе №3 описываются уравнениями:

$$V_{ny} \frac{dC_y}{dt} = Q_m - (Q_y + Q_m) * C_y; \quad (3)$$

$$V_l \frac{dC_l}{dt} = Q_{мл} - (Q_l + Q_{мл}) * C_l; \quad (4)$$

$$V_{ш} \frac{dC}{dt} = Q_{мш} + Q_{мд} - (Q + Q_{мш} + Q_{мд}) * C, \quad (5)$$

где  $C_y$  — концентрация метана в утечках воздуха на выходе выработанного пространства,  $C_l$  — средняя концентрация метана,  $Q_l$  — расход воздуха в лаве; где  $Q_{мл}$  — дебит метана в лаве из всех источников [5]. Исходя из этого, можно составить систему уравнений для модели первого типа:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 K_{yч} \frac{dQ}{dt} + R_{yч} * Q^2 + R' * Q^2 = H_{yч} \\
 A \frac{dQ_m}{dt} + Q_m = Q_{om} + B * R_{\phi} \frac{d(Q * Q)}{dt} \\
 V_{ny} \frac{dC_y}{dt} = Q_m - (Q_y + Q_m) * C_y \\
 V_l \frac{dC_l}{dt} = Q_{ml} - (Q_l + Q_{ml}) * C_l \\
 V_{ш} \frac{dC}{dt} = Q_{мл\delta} + Q_{м\delta} - (Q + Q_{мл\delta} + Q_{м\delta}) * C \\
 Q_{мл\delta} = (Q_l + Q_{ml}) * C_l \\
 Q_{м\delta} = (Q_y + Q_m) * C_y
 \end{array} \right. \quad (6)$$

Система уравнений для модели второго типа:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 K_{yч} \frac{dQ_1}{dt} + R_{yч} * Q_1^2 + R' * Q_1^2 = H_{yч} \\
 K_{yчl} \frac{dQ_2}{dt} + R_{yч} * Q_2^2 + R' * Q_2^2 = H_{yч} \\
 A \frac{dQ_m}{dt} + Q_m = Q_{om} + B * R_{\phi} \frac{d(Q_1 * Q_1)}{dt} \\
 V_{ny} \frac{dC_y}{dt} = Q_m - (Q_y + Q_m) * C_y \\
 V_l \frac{dC_l}{dt} = Q_{ml} - (Q_l + Q_{ml}) * C_l \\
 V_{ш} \frac{dC}{dt} = Q_{мл\delta} + Q_{м\delta} - (Q_1 + Q_{мл\delta} + Q_{м\delta} + Q_2) * C \\
 Q_{мл\delta} = (Q_l + Q_{ml}) * C_l \\
 Q_{м\delta} = (Q_y + Q_m) * C_y
 \end{array} \right. \quad (7)$$

Математические модели, отражающие физическую сущность переходных аэрогазодинамических процессов в схемах проветривания выемочных участков следует разрабатывать в таком порядке: анализ схем на заданной шахте и построение их структурных схем как объектов управления; вывод уравнений для элементов структурных схем по методике, предложенной в [1]. Полученные уравнения включаются в общее математическое описание шахтной вентиляционной сети.

### Библиографический список

1. **Абрамов Ф.А., Фельдман Л.П., Святный В.А.** Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии / Киев, Наукова думка, 1981.
2. **Мясников А.А., Патрушев М.А.** Основы проектирования вентиляции угольных шахт / Москва, Недра, 1971.
3. **Янко С.В., Ткачук С.П.** Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / Киев, 1994.

4. **Звягильский Е.Л., Булат А.Ф., Ефремов И.А., Бокий Б.В., Бунько Т.В., Кокулин И.Е.** Проветривание и газовый режим шахты имени А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Донецк–Днепропетровск, 2003.
5. **Святный В.А.** Моделирование аэрогазодинамических процессов и разработка систем управления проветриванием шахт. Докт. диссертация. ДПИ, Донецк, 1985.