

# **Блочно-ориентированная модель газодинамических процессов в схемах проветривания участков шахт**

Завадская Т.В.  
Кафедра ЭВМ ДонНТУ  
[zavadskaja@cs.dgtu.donetsk.ua](mailto:zavadskaja@cs.dgtu.donetsk.ua)

## **Abstract**

*Zavadskaya T.V. Block-oriented model of gas-dynamic processes in air-ventilation schemes of coal mining sites. As a result of analysis and classification processes, individual excavation sites could be represented as 1st and 2nd-order structural schemes, where each scheme is mathematically described as a set of ODEs. The resulting systems are solved using block-oriented programming approach.*

## **Введение**

Современному горному производству присуще усложнение горнотехнических условий, связанное с увеличением глубины подземных работ, концентрацией и интенсификацией горных работ. Высокие нагрузки на очистные забои, темпы проведения выработок требуют решения задач обеспечения безопасности режимов проветривания, которые характеризуются подачей и распределением по выработкам такого количества воздуха, при котором соблюдаются требования правил техники безопасности, поддерживаются оптимальные режимы работы вентиляционных установок и достигается заданная производительность выемочных участков [3]. Решение этой проблемы возможно только с применением современных научных методов, одним из которых является математическое моделирование процессов проветривания.

## **Типы схем проветривания выемочных участков и их краткая технологическая характеристика**

Схемы проветривания выемочных участков (СПВУ) классифицируют в зависимости от степени обособленности разбавления газов по источникам их поступления в рудничную атмосферу, направления исходящей из лавы струи воздуха, направления движения воздуха по очистной выработке, взаимного направления свежей и исходящей струй. Выбор схемы проветривания для конкретных горно-геологических условий производится с учетом газообильности выемочного участка, нагрузки на забой, выбросоопасности, самовозгораемости угля [3,5,6]. Рассмотрим СПВУ шахты им. А.Ф.Засядько. Здесь работают 4 добычных

участка, разрабатывающие пласты  $m_3$ ,  $l_1$ ,  $l_4$ ,  $k_8$ . Каждый из участков разрабатывает отдельный пласт. Участок №1 (3 западная лава) производит добычу с пласта  $l_4$ . Схема проветривания лавы — прямоточная на выработанное пространство. Тип схемы проветривания 2-В-Н-в-пт. Участок №2 (17 западная лава) разрабатывает пласт  $m_3$ . Схема проветривания — возвратноточная на массив. Тип схемы проветривания 1-М-Н-в-вт. Участок №4 (12 восточная лава) производит добычу с пласта  $k_8$ . Схема проветривания лавы изменяется на протяжении работы: первый период — комбинированная независимая восходящая прямоточная (тип схемы проветривания 1-К-Н-в-пт); второй период — независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство с частичным разбавлением примесей (тип схемы проветривания 2-В-Н-в-вт); третий период — независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство с последовательным разбавлением примесей (тип схемы проветривания 1-В-Н-в-вт). Участок №7 (13 восточная лава) разрабатывает пласт  $l_1$ . Схема проветривания лавы на этом участке также изменяется на протяжении работы: первый период — независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство (тип схемы проветривания 1-В-Н-в-вт); второй период — независимая восходящая возвратноточная на выработанное пространство с частичным разбавлением примесей (тип схемы проветривания 2-В-Н-в-вт); третий период — комбинированная независимая восходящая прямоточная (тип схемы проветривания 1-К-Н-в-пт); четвертый период — возвратноточная на массив (тип схемы проветривания 1-М-Н-в-пт) [2,4].

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 (участки №№1, 2 второй период, № 7 второй период).

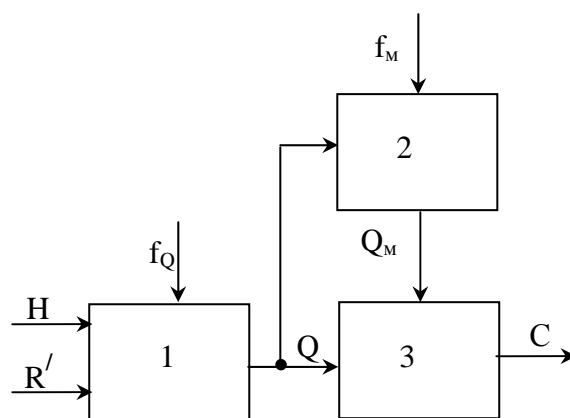


Рисунок 1 - Структура схемы проветривания первого типа

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  $C$ .

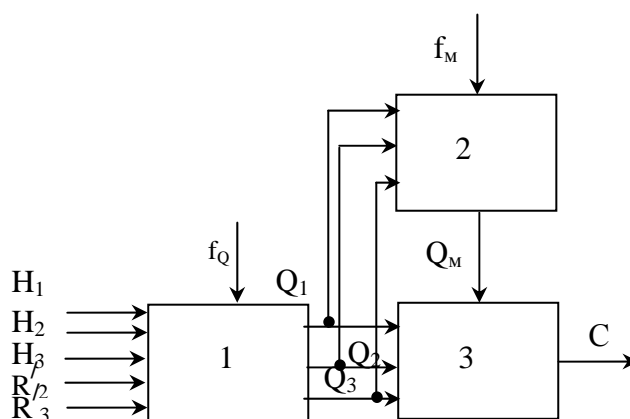


Рисунок 2 - Структура схемы проветривания второго типа

$Q_1$  — 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].

### **Вывод уравнений аэрогазодинамических процессов**

Для вывода системы уравнений, которая описывает модели СПВУ указанных типов, необходимо записать отдельные уравнения для каждого элемента в структурах. Элемент №1 можно описать уравнением вида

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

где  $K_{yч}$ ,  $R_{yч}$  — аэродинамические параметры, учитывающие влияние выработанного пространства на инерционность воздушного потока и общее аэродинамическое сопротивление,

$$K_{yч} = K \frac{R_{yч}}{R_o + R_l + R_v}; \quad K = \rho \left( \frac{L_o}{S_o} + \frac{L_l}{S_l} + \frac{L_v}{S_v} \right).$$

Элемент №2 описывается уравнением:

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

где  $A$ ,  $B$  — газодинамические параметры участка;

$$A = \frac{V_{II}}{C\phi * S\sigma * P_{oM}} ; B = \frac{V_{II}}{P_{oM}} .$$

Газодинамические процессы в элементе №3 описываются уравнениями:

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

$$V_{л} \frac{dC_{л}}{dt} = Q_{мл} - (Q_{л} + Q_{мл}) * C_{л} ; \quad (4)$$

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

Исходя из этого, можно составить систему уравнений для модели *первого типа*:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{yч} \frac{dQ}{dt} + R_{yч} * Q^2 + R' * Q^2 = H_{yч} \\ A \frac{dQ_m}{dt} + Q_m = Q_{ом} + B * R\phi \frac{d(Q * Q)}{dt} \\ V_{пу} \frac{dC_y}{dt} = Q_M - (Q_y + Q_M) * C_y \\ V_{л} \frac{dC_{л}}{dt} = Q_{мл} - (Q_{л} + Q_{мл}) * C_{л} \\ V_{ш} \frac{dC}{dt} = Q_{млд} + Q_{мд} - (Q + Q_{млд} + Q_{мд}) * C \\ Q_{млд} = (Q_{л} + Q_{мл}) * C_{л} \\ Q_{мд} = (Q_y + Q_M) * C_y . \end{array} \right. \quad (6)$$

Система уравнений для модели *второго типа*:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{yч} \frac{dQ_1}{dt} + R_{yч} * Q_1^2 + R' * Q_1^2 = H_{yч} \\ K_{yч1} \frac{dQ_2}{dt} + R_{yч} * Q_2^2 + R' * Q_2^2 = H_{yч} \\ A \frac{dQ_m}{dt} + Q_m = Q_{ом} + B * R\phi \frac{d(Q_1 * Q_1)}{dt} \\ V_{пу} \frac{dC_y}{dt} = Q_M - (Q_y + Q_M) * C_y \\ V_{л} \frac{dC_{л}}{dt} = Q_{мл} - (Q_{л} + Q_{мл}) * C_{л} \\ V_{ш} \frac{dC}{dt} = Q_{млд} + Q_{мд} - (Q_1 + Q_{млд} + Q_{мд} + Q_2) * C \\ Q_{млд} = (Q_{л} + Q_{мл}) * C_{л} \\ Q_{мд} = (Q_y + Q_M) * C_y \end{array} \right. \quad (7)$$

По математическому описанию (6), (7) построим модели СПВУ в виде блок-схем. Для этого будем использовать язык моделирования SIMULINK (система динамического моделирования для MATLAB®, The MathWorks Inc), который поддерживает работу с линейными и нелинейными системами, моделируемыми в непрерывном времени, а также обеспечивает иерархическое представление модели [7].

Результатами моделирования являются графики расхода воздуха ( $Q$ ) и концентрации метана ( $C$ ). Переходные процессы, вызванные ступенчатым изменением расхода воздуха при использовании блочно-ориентированного метода, представлены на рисунках 3.1 – 3.4.

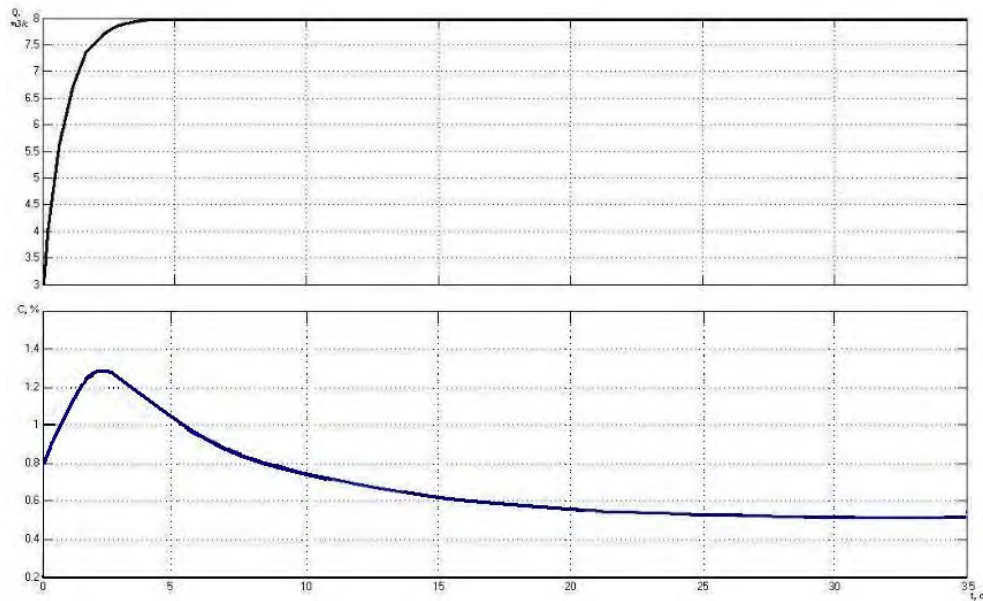


Рисунок 3.1 - Результаты моделирования газовыделения участка №1

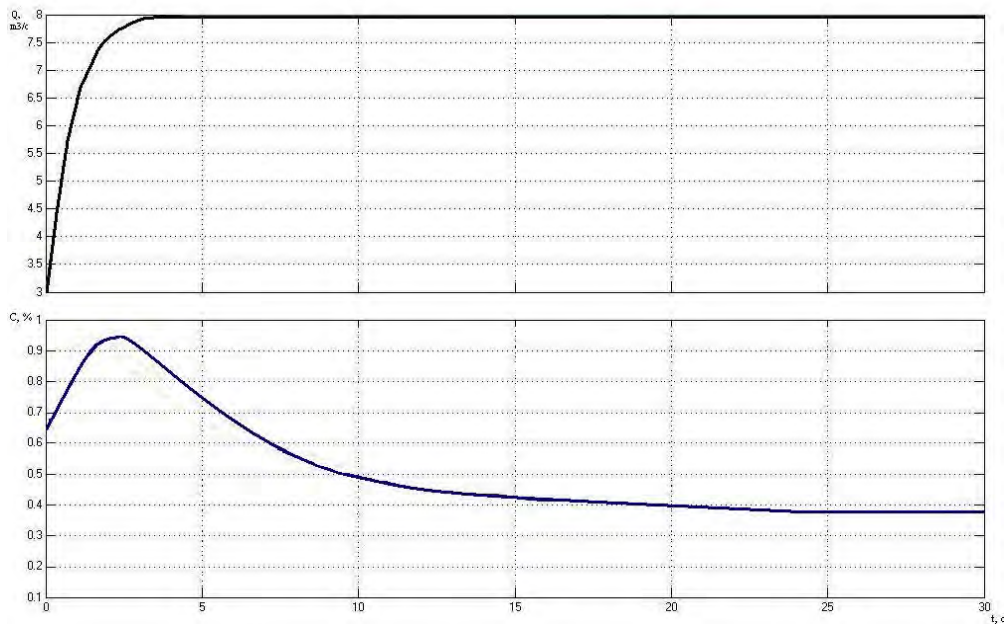


Рисунок 3.2 - Результаты моделирования газовыделения участка №2

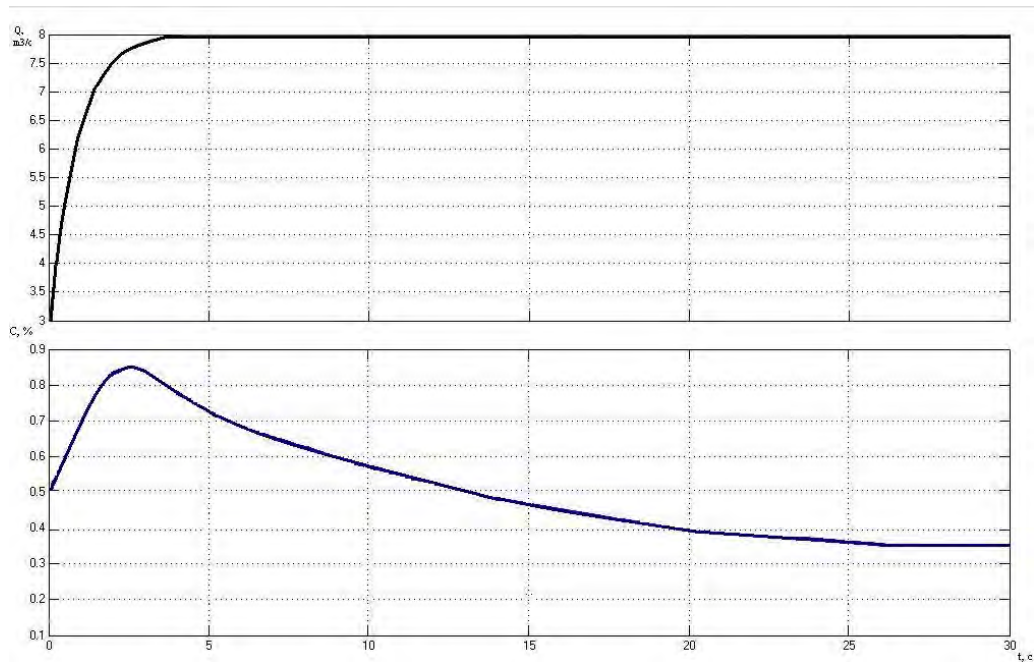


Рисунок 3.3 - Результаты моделирования газовыделения участка №4

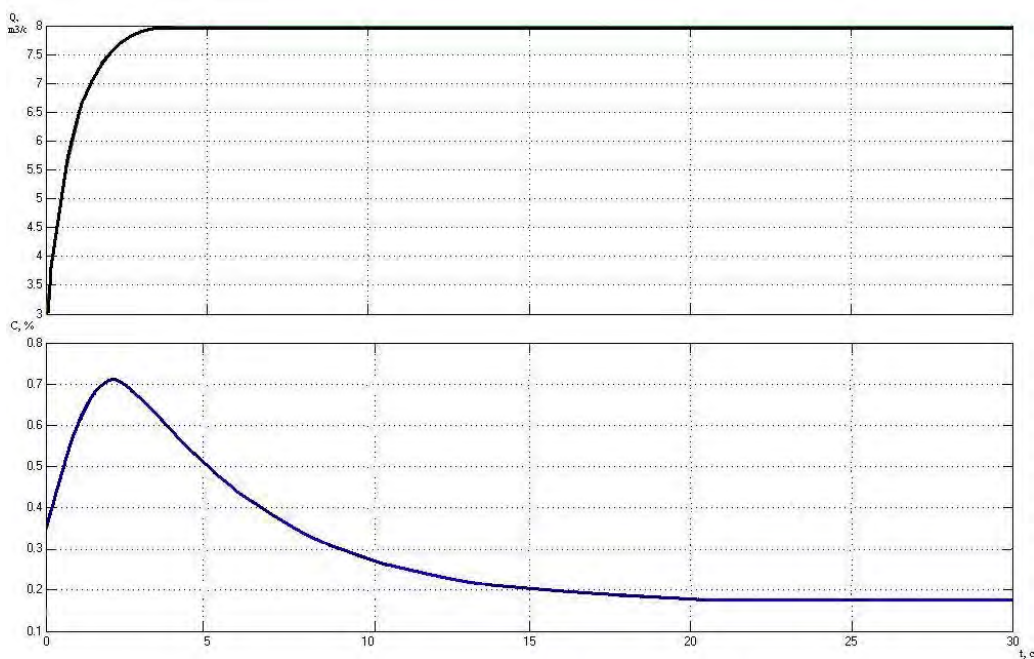


Рисунок 3.4 - Результаты моделирования газовыделения участка №7

При ступенчатом изменении  $Q$  вначале наблюдается всплеск концентрации метана, а затем после достижения установившегося значения расхода воздуха, величина  $C$  снижается и стремится к установившемуся значению допустимой концентрации.

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными показывает, что модели достаточно точно отражают физическую картину процессов.

## **Выводы**

На современных угольных шахтах эксплуатируются одновременно несколько типов схем проветривания выемочных участков. Предложено математическое описание аэрогазодинамических процессов для схем двух типов, учитывающие горно-технические условия конкретной шахты. Получены результаты моделирования, которые совпадают с данными шахтных экспериментов. Блочнo-ориентированные модели СПВУ будут использованы при разработке математической модели всей шахтной вентиляционной сети.

## **Литература**

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. Кирин Б.Ф., Ушаков К.З.: Рудничная и промышленная аэрология / Москва, Недра, 1983.
6. Абрамов Ф.А.: Рудничная аэрогазодинамика / Москва, Недра, 1972
7. Simulink: Dynamic System Simulation for MATLAB – Using Simulink, 3 edition, MathWorks Inc., 1999.

Дата надходження до редакції 25.11.2007 р.