

УДК 004.942

Блочно-ориентированная модель системы многосвязного управления воздухораспределением в шахтной вентиляционной сети

Завадская Т.В.
Кафедра ЭВМ ДонНТУ
zavadskaja@cs.dgtu.donetsk.ua

Аннотация

Завадская Т.В. Блочно-ориентированная модель системы многосвязного управления воздухораспределением в шахтной вентиляционной сети. В статье представлено математическое описание, блочно-ориентируемые модели, результаты моделирования системы автоматизированного управления воздухораспределением в шахтной вентиляционной сети.

Ключевые слова: шахтная вентиляционная сеть, граф, дифференциальное уравнение, модель, автоматизированное управление, регулирующий орган, воздух.

Анотація

Завадська Т.В. Блочно-орієнтована модель системи багатозв'язного керування повітророзподілом у шахтній вентиляційній мережі. У статті представлений математичний опис, блочно-орієнтовані моделі, результати моделювання системи автоматичного керування повітророзподілом керування у шахтній вентиляційній мережі.

Ключові слова: шахтна вентиляційна мережа, граф, диференціальне рівняння, модель, автоматизоване керування, регулюючий орган, повітря.

Abstract

Zavadskaya T.V. Block-oriented model system of a multiply control air distribution in a mine ventilating network. The article presents a mathematical description, block-oriented model, simulation results of the automatic control air distribution of mine ventilation network.

Keywords: mine ventilating network, graph, ODE, model, the automated control, regulatory body, the air.

Введение

Шахтные вентиляционные сети (ШВС) являются сложными объектами моделирования по следующим причинам: большое число каналов проветривания и узлов соединения; каждый канал представляется как аэродинамическая нелинейная система; вентиляторы, управляемые сопротивлениями и шлюзы имеют нелинейные, зависящие от потока воздуха характеристики. Система автоматического управления должна осуществлять активное (изменение производительности вентиляторных установок) и пассивное (воздействие на вентиляционную струю с помощью регуляторов расхода воздуха (РРВ)) регулирование. Приоритетным является регулирование РРВ. Если же эта мера не приносит желаемого результата, тогда требуется изменение подачи вентилятора главного проветривания (ВГП). Рассмотрим модель ШВС и ее системы многосвязного управления расходами воздуха на основе блочно-ориентированного языка моделирования.

Формальное описание ШВС

Как известно [1,2,3,5], ШВС представляется ориентированным графом $G(m, n)$, где m – количество ветвей (Q), n – количество узлов (U). Этот граф отражает топологию связей между ветвями и узлами, размещение активных элементов в сети (вентиляторов).

Топология графа описывается матрицей инциденций A размерностью $(m \times (n-1))$ и матрицей независимых контуров S ($m \times \gamma$), где $\gamma = (m-n+1)$.

Математическое описание переходных процессов в сети (модель ШВС) имеет вид [1,2]:

$$\begin{cases} AQ=0 \\ SK \frac{dQ}{dt} + SRZ + SR' Z = SH \end{cases}, \quad (1)$$

где: A — матрица инциденций; S — матрица контуров; Q — вектор расхода воздуха в ветвях; R — диагональная матрица аэродинамических сопротивлений; K — диагональная матрица аэродинамических коэффициентов; H — вектор депрессий, создаваемых вентиляторами в ветвях; Z — вектор с элементами $Z_i = Q_i | Q_i |$.

Блочно-ориентированная (БО) модель ШВС

По формальному описанию (1) построим модель ШВС с помощью блочно-ориентированного языка моделирования SIMULINK (система динамического моделирования для MATLAB[®], The MathWorks Inc).

Предлагается следующая методика построения модели.

1. Уравнения (1) приведем к виду, удобному для составления БО-схемы решения. Специфика системы (1) состоит в наличии подсистемы алгебраических узловых и дифференциальных контурных уравнений. Выделив в графе $G(m,n)$ дерево и антидерево, структурируем векторы и матрицы по ветвям дерева и антидерева следующим образом:

$$Q = \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$Z = \begin{pmatrix} Z_X \\ Z_Y \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$A = (A_X \ A_Y), \quad (4)$$

$$S = (S_X \ S_Y), \quad (5)$$

$$R = \begin{pmatrix} R_X & 0 \\ 0 & R_Y \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$K = \begin{pmatrix} K_X & 0 \\ 0 & K_Y \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$H = (H_X \ H_Y). \quad (8)$$

Здесь X, Y — векторы расходов в ветвях дерева и антидерева

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_{n-1})^T,$$

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_\gamma)^T,$$

$\gamma = (m - (n - 1))$ — цикломатическое число графа.

Подставив в систему (1) значения переменных и параметров по (2)-(8), запишем ее в следующем виде

$$\begin{cases} A_X X + A_Y Y = 0 \\ S_X K_X \frac{dX}{dt} + S_Y K_Y \frac{dY}{dt} + S_X R_X Z_X + S_Y R_Y Z_Y + S_X R'_X Z_X + S_Y R'_Y Z_Y = S_X H_X + S_Y H_Y = SH \end{cases}$$

и после преобразований получим систему матрично-векторных уравнений в форме, по которой можно составить БО-схему решения (Simulation Model):

$$\begin{cases} X = -WY \\ \frac{dY}{dt} = S_p H - S_p RZ - S_p R'Z \end{cases}, \quad (9)$$

где $W = A^{-1}_X * A_Y$; $S_p = U^{-1}S$; $U = (S_Y K_Y - S_X K_X W)$ [1,2]. Начальные условия: $Y(0)=Y_0$, $X(0)=-WY(0)$.

Составляем блок-схему решения уравнений (9), пользуясь средствами БО-языка моделирования Simulink [7,8,9,10,11]. Слагаемые правых частей уравнений предполагаются известными и над ними выполняются матрично-векторные операции, необходимые для получения векторов неизвестных расходов X , Y . Далее над X , Y выполняются БО операции, которые дают принятые известными слагаемые правых частей. Последние подаются как обратные связи на входы блок-схемы. На рис.1 показана блок-схема решения, содержащая блоки векторно-матричных операций языка Simulink. Реально блок-схема содержит γ интеграторов, $n-1$ сумматоров, m блоков умножения для получения вектора Z .

Составление модели сводится к перемещению необходимых блоков из библиотек Simulink в окно создаваемой модели и соединению этих блоков между собой с помощью функциональных связей. После этого производится настройка параметров блоков, которые используются в модели. Подключаются необходимые компоненты из библиотеки «Sinks» для визуализации результатов и измерения интересующих параметров. Далее осуществляется тестирование, и проводятся необходимые исследования модели.

2. Составляем блок-схему решения системы (9) представленную на рис.1.

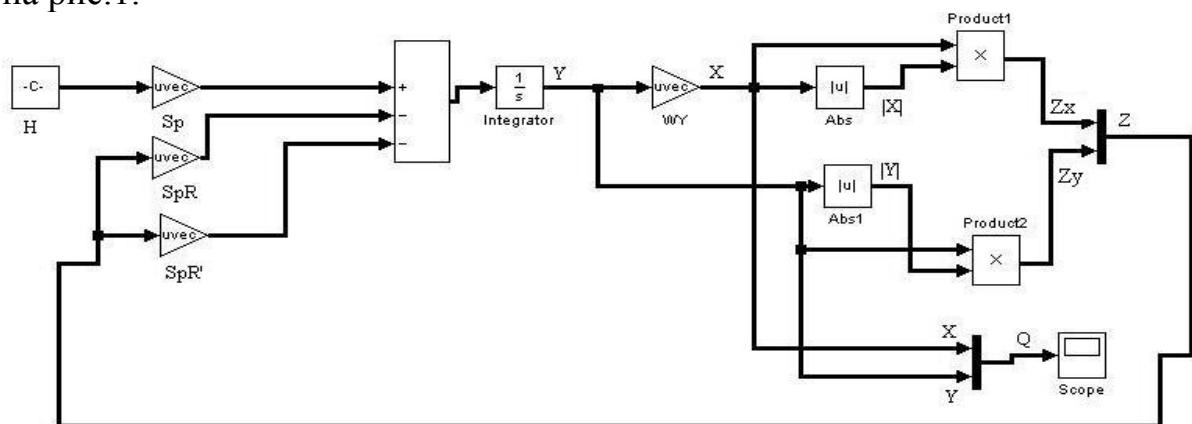


Рис. 1 Блочнo-ориентированная модель (Simulator) ШВС

3. Задание параметров топологии. Пример — на рис. 2.

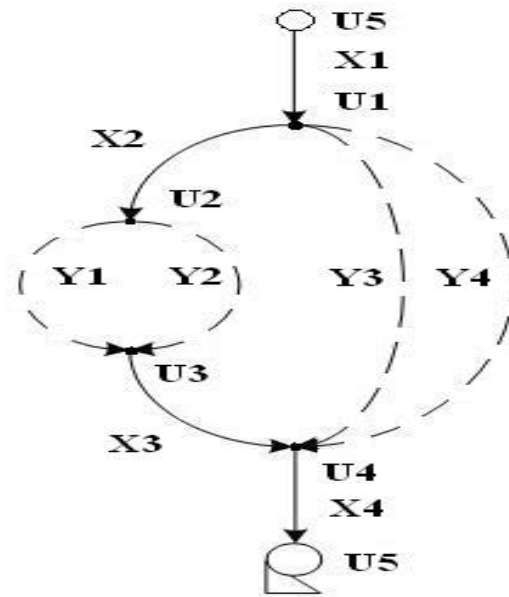


Рис. 2 Дерево и антидерево графа

Результатами моделирования являются графики расходов воздуха (Q). Скачкообразное включение вентилятора эквивалентно интегрированию с нулевыми начальными условиями потоков воздуха. Переходные процессы, которые возникают в ШВС (рис. 2 при $Y(0)=0, X(0)$ и скачкообразном изменении H), представлены на рисунке 3.

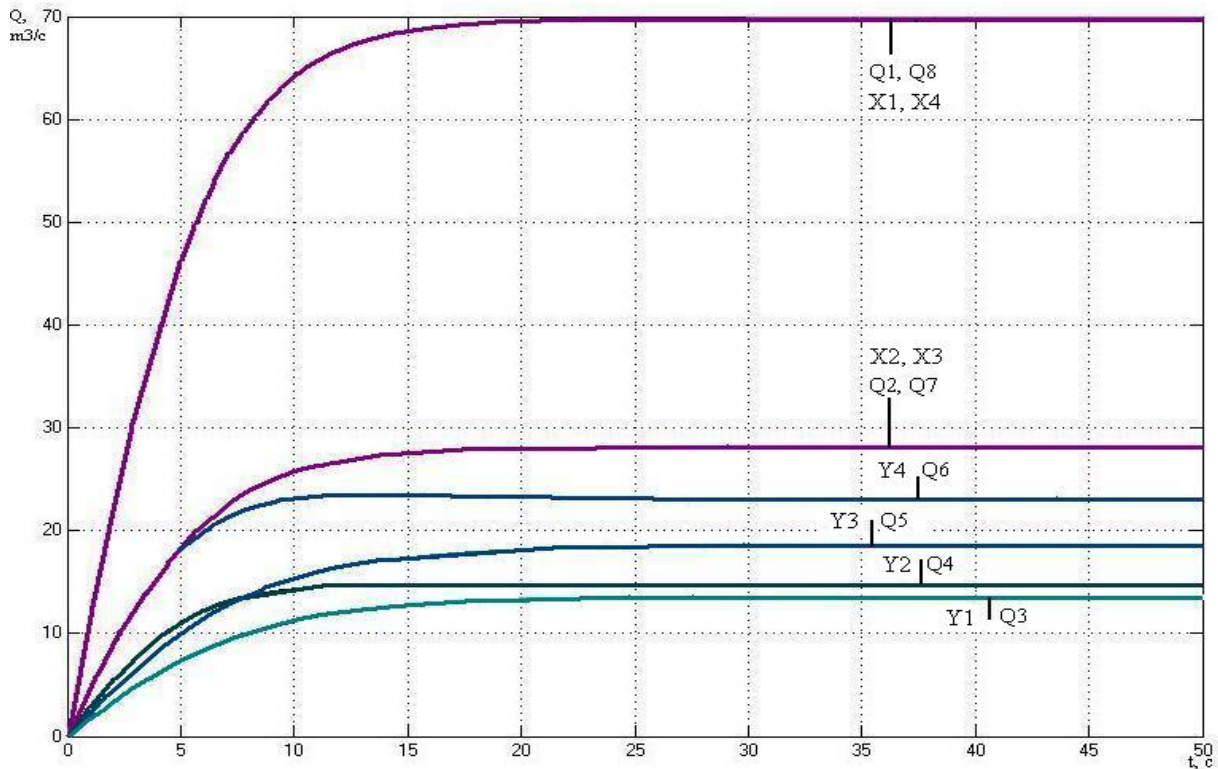


Рис. 3 Результаты моделирования переходных процессов в ШВС

Система автоматического управления (САУ) схем проветривания выемочных участков (СПВУ)

Структурная схема подключения САУ к СПВУ показана на рис.4, а структура САУ — на рис.5 [1,2].



Рис. 4 Структура автоматизированной СПВУ

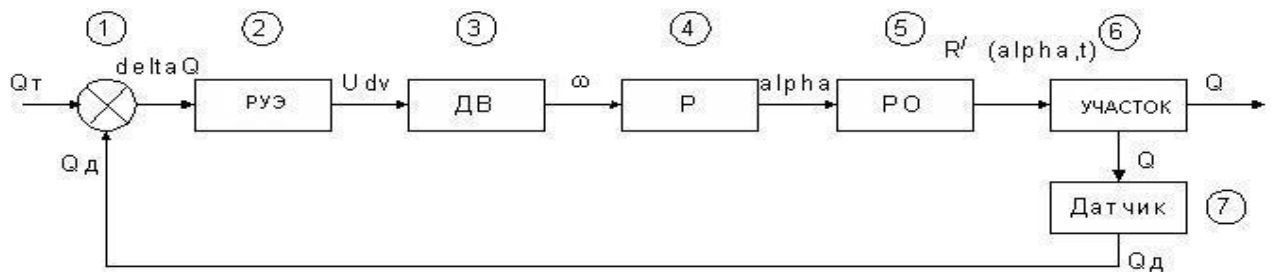


Рис. 5 Структура системы управления потоком воздуха в ветви:

1 — определитель ΔQ ; 2 — релейный усилительный элемент; 3 — двигатель; 4 — редуктор; 5 — регулирующий орган; 6 — СПВУ (объект); 7 — датчик [1,2,6].

Каждое из звеньев системы управления выполняет определенную функцию и описывается соответствующим уравнением:

$$1. \quad \Delta Q = Q_T - Q_Д; \quad (10)$$

В данном звене системы определяется разница между величинами Q_T (требуемое значение расхода воздуха в ветви) и $Q_Д$ (значение, полученное от датчика), причем величина ΔQ знакопеременна ($-\delta < \Delta Q < \delta$).

2. Релейный усилительный элемент, который выполняет функцию определения U_{dv} , зависящую от ΔQ . Если $\Delta Q > 0$, то нужно увеличить Q и уменьшить R' ; если $\Delta Q = 0$, то $R' = \text{const}$; если $\Delta Q < 0$, то следует уменьшить Q и увеличить R' .

Данная зависимость представлена на рис. 6. Здесь присутствует дополнительный параметр ΔQ_s , который определяет “зону нечувствительности”.

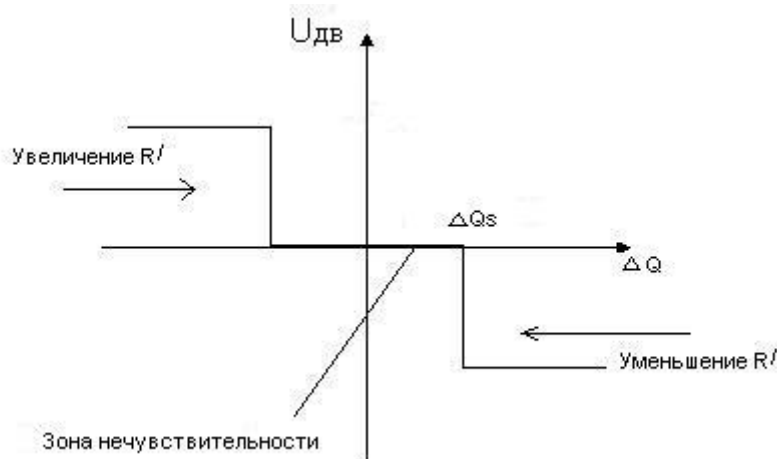


Рис. 6 – Зависимость $U_{дв}$ от ΔQ

3. Двигатель. Уравнение данного звена:

$$T_{дв} \frac{dw}{dt} + w = K_{дв} * U_{дв}, \quad (11)$$

где: $T_{дв}$ — постоянная времени двигателя; $K_{дв} = \frac{w}{U_{дв}}$ — коэффициент передачи двигателя; w — угловая скорость двигателя.

4. Редуктор. Используется для снижения числа оборотов двигателя и описывается уравнением

$$\frac{d\alpha}{dt} = K_p * w, \quad (12)$$

где α — переменная, характеризующая перемещение регулирующего органа.

5. Регулирующий орган (РО).

$$R'(\alpha) = a * \alpha^2, \quad (13)$$

где a — параметр регулирующего органа; R' — величина регулируемого аэродинамического сопротивления.

6. Объект управления — схема проветривания выемочного участка, описывается уравнением:

$$K_{уч} \frac{dQ}{dt} + R_{уч} * Q^2 + R' * Q^2 = H_{уч}, \quad (14)$$

7. Датчик. Это последнее звено в системе управления потоком. Изменение расхода воздуха происходит в соответствии с уравнением [1,2,6]:

$$T_D * \frac{dQ_D}{dt} + Q_D = K_D * Q, \quad (15)$$

где T_D — постоянная времени; Q_D — результат измерения; K_D — коэффициент передачи датчика.

Численные значения, которые используются в процессе моделирования, представлены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры САУ

№	H	R _{уч}	R' max	Q	a	α	U _{ДВ}	w
1 (РО открыт)	680	1,7	0	20	5,78	0	380	-125
2 (РО закрыт)	680	1,7	25,5	5	5,78	2,1	380	125

Исходя из уравнений (10)-(15), построим модель САУ в виде блок-схем (рис.7).

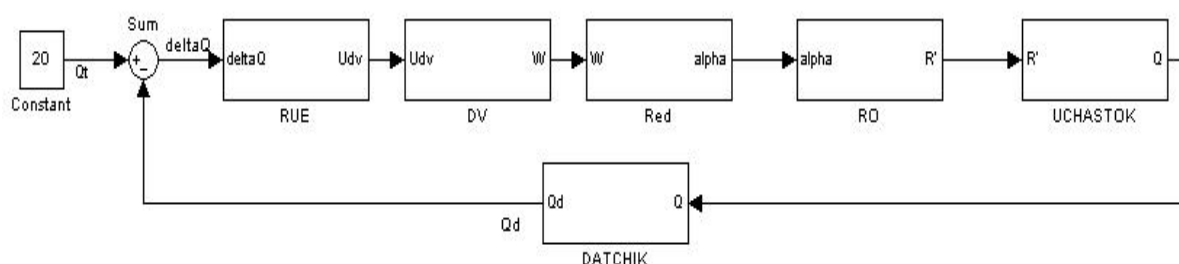


Рис. 7 Блочнo-ориентированная модель САУ

Результатами моделирования являются графики расходов воздуха (Q) при закрывании РО (рис.8) и при открывании РО (рис.9).

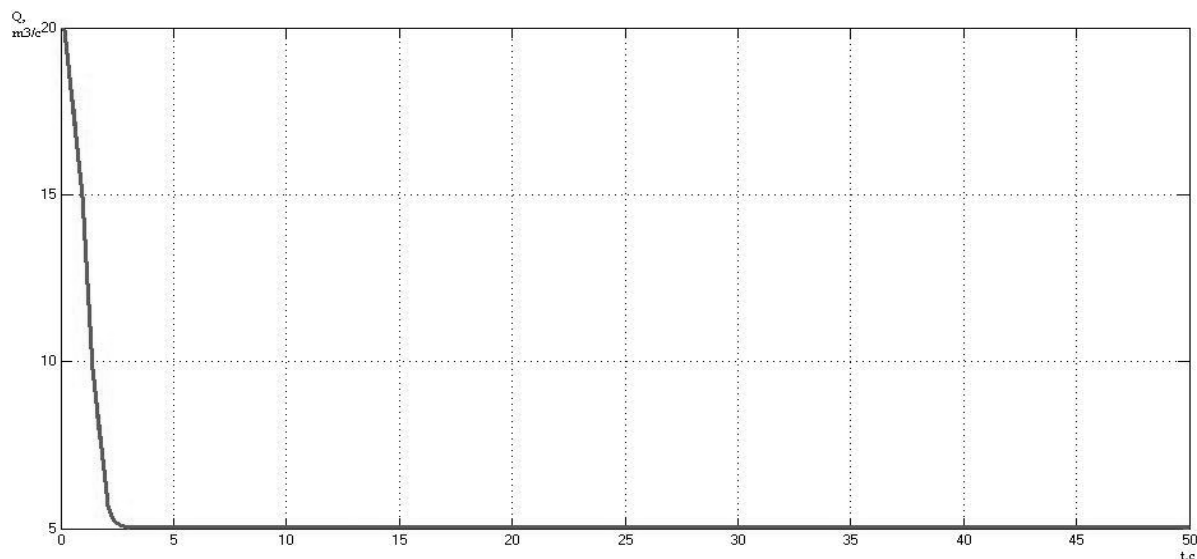


Рис. 8 График расхода воздуха при закрывании РО

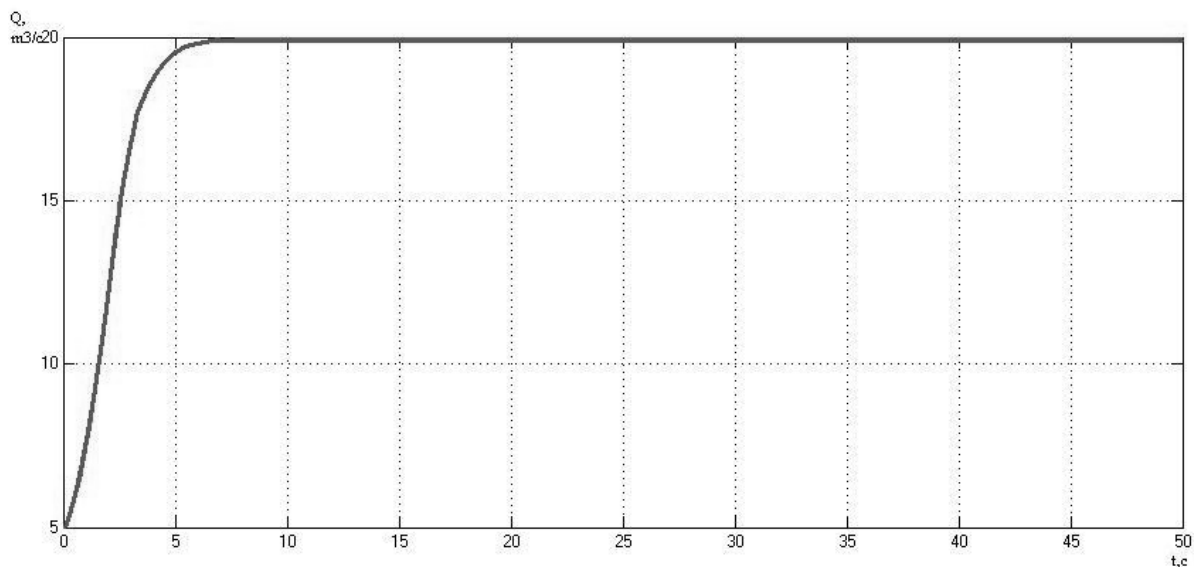


Рис. 9 График расхода воздуха при открывании РО

САУ расходов воздуха в ШВС

Выемочные участки являются основными объектами проветривания на угольных шахтах. В зависимости от нагрузки на выемочный участок необходимо обеспечивать его соответствующим количеством воздуха. Поэтому и возникает необходимость в перераспределении потоков воздуха [1,4]. Поставим САУ в ветви антидерева в графе ШВС (рис.10).

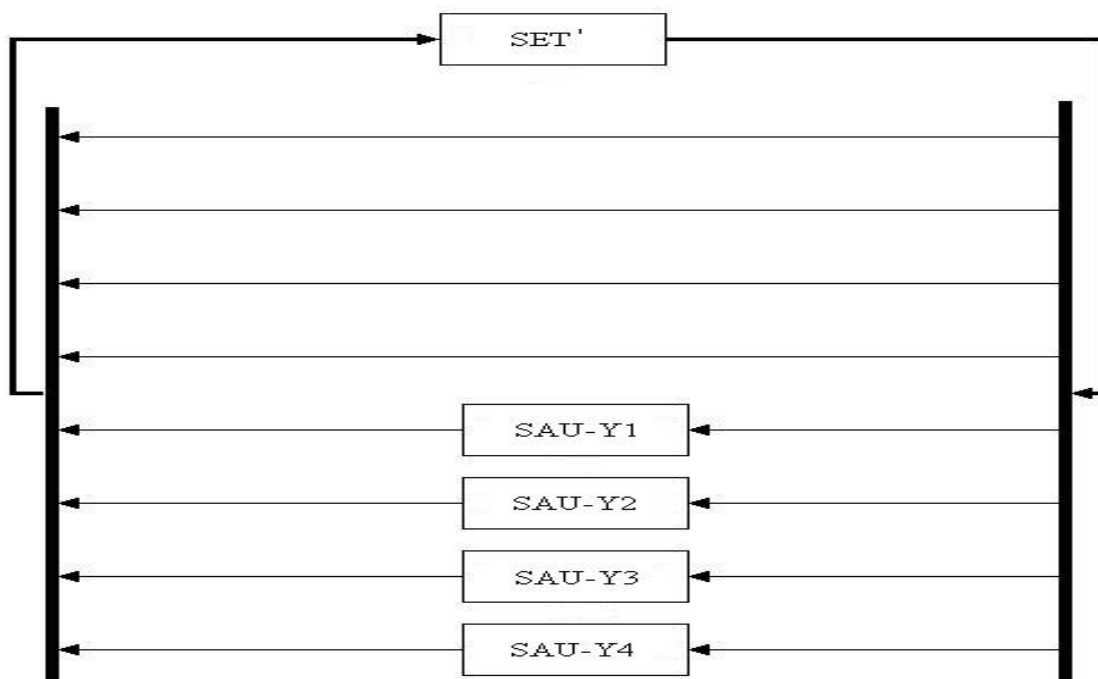


Рис. 10 САУ в ветвях Y1-Y4 ШВС

Пусть работает САУ в ветви Y1, а остальные САУ отключены. Результаты моделирования представлены на рис. 11.

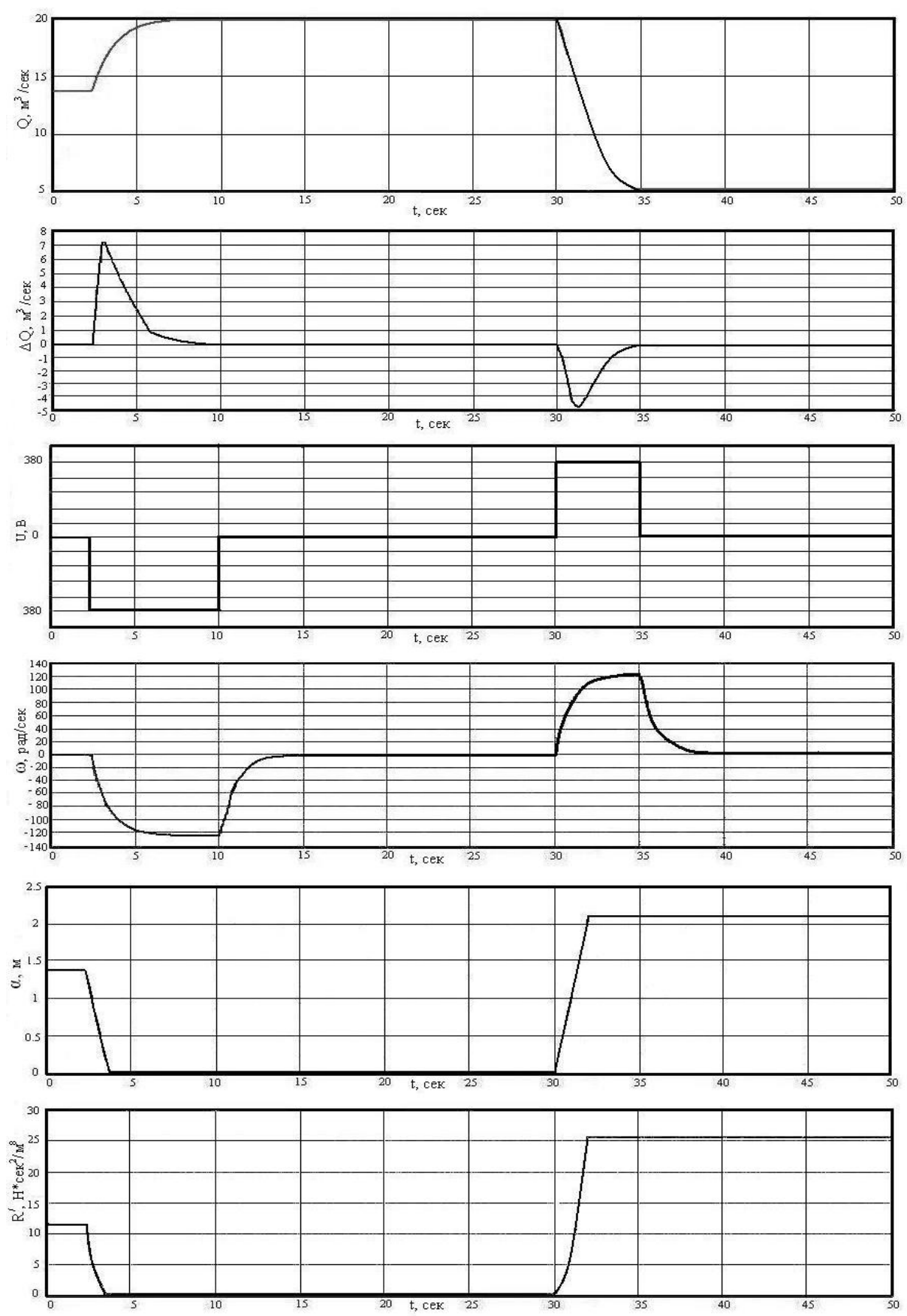


Рис. 11 Результаты моделирования расхода воздуха в ветви Y1 при работе САУ

На диаграммах отображены процессы, происходящие в ветви антидерева графа ШВС при подключении к ней САУ. При уменьшении R' начинает работу двигатель, который осуществляет передвижение РО, уменьшается α , ΔQ растет и расход воздуха Q в данной ветви увеличивается. При увеличении R' двигатель работает в обратном режиме, α увеличивается, и расход воздуха Q уменьшается. Принцип работы САУ в ветвях Y2-Y4 будет аналогичен.

Выводы

Разработана блочно-ориентированная модель шахтной вентиляционной сети как объекта управления расходами воздуха на основе векторно-матричной системы уравнений динамики воздухораспределения. К БО-модели ШВС подключены БО-модели систем автоматического регулирования расходов воздуха на выемочных участках. Исследования показали соответствие результатов моделирования тестовым расчетам. Реализация БО-моделей на языке Simulink открывает хорошие перспективы модельной поддержки разработок систем управления воздухораспределением в реальных ШВС действующих шахт.

Литература

1. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии. Абрамов Ф.А., Фельдман Л.П., Святный В.А. – Киев: Наук. думка, 1981.
2. Святный В.А. Диссертация - Моделирование аэрогазодинамических процессов и разработка систем управления проветриванием угольных шахт. Донецк, 1985, 408 с.
3. Математическое моделирование надежности и эффективности шахтных вентиляционных сетей. Ушаков В.К., 2003.
4. Автоматизация проветривания шахт. Абрамов Ф.А., Бойко В.А. – Киев: Наук. думка, 1967.
5. Управление воздухораспределением в шахтной вентиляционной сети. Акутин К.Г., Филиппович Е.И., Шойхет Л.А. – Москва : Недра, 1977.
6. Теория автоматического управления. Гольдфарб Л.С., Балтрушевич А.В., Круг Г.К., Нетушил А.В., Пастернак Е.Б. – Москва: Высшая школа, 1968.
7. Simulink: Dynamic System Simulation for MATLAB – Using Simulink, 3rd edition, MathWorks Inc., 1999.
8. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Дьяконов В.П. М.: СОЛОН-Пресс, 2003.
9. Simulink. Черных И. Среда создания инженерных приложений. М.: Диалог-МИФИ, 2004.

10. The MathWorks - MATLAB and Simulink for Technical Computing.
<http://www.mathworks.com/>

11. Консультационный центр MATLAB компании Softline.
<http://matlab.exponenta.ru/>



Завадская Татьяна Владимировна.

В 2003 году закончила Донецкий национальный технический университет. С 2004 года работает ассистентом на кафедре Электронные вычислительные машины. С 2004 по 2007 год обучалась в аспирантуре кафедры.

Научные интересы: математическое моделирование динамических систем.

Дата надходження до редакції 30.10.2008 р.