

ПОСТРОЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ СИТУАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

Разинков Д.С.

Кафедра ЭВМ ДонГТУ
rasinkov@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Rasinkov D. S. Construction of qualitative situation-oriented model for mine ventilation net. A combined qualitative-quantitative approach to building a situation-oriented model is proposed. Two qualitative dynamic models for mine ventilation net are developed. A new simulation method "race of variables" is presented.

Введение

Математические модели переходных аэродинамических процессов в шахтных вентиляционных сетях (ШВС) используются для разработки систем управления проветриванием [1]. Основой моделей являются дифференциальные уравнения, описывающие динамику изменений расходов воздуха, концентраций и дебитов метана. Модели этого вида принято называть количественными, так как при решении задачи Коши для систем уравнений ШВС они дают все численные значения искомых переменных на интервале моделирования с дискретностью, равной шагу численного интегрирования. В последнее время в теории и практике моделирования динамических систем активно используются возможности так называемого качественного моделирования для анализа процессов и оценки аварийности и опасных ситуаций. Рассмотрим вопросы построения этого класса моделей для ШВС.

1. Комбинированное построение качественной ситуационной модели динамического объекта

Качественные ситуационные модели основаны на интервальном представлении параметров. Комбинации интервальных значений создают ситуации. Совокупность продолжительностей ситуаций и переходов между ними создают качественную динамическую характеристику объекта моделирования.

Изменение ситуации для объекта происходит при изменении значения хотя бы одной интервальной переменной, которая описывает объект. Продолжительность ситуации определяется переходными процессами, протекающими внутри объекта. При переходном процессе изменяются непрерывные значения параметров, которые в определенный момент достигают качественной границы, то есть переходят из одного качественного интервала в другой. Время перехода из одного качественного состояния в другое означает переход из одного множества непрерывных значений в другое множество и не может быть определено однозначно. Однако можно определить понятие продолжительность качественного значения, как время переходного процесса от одной границы интервала к другой.

Для полного покрытия области значений будем применять качественные интервалы с одной закрытой и одной открытой границей и закрытую границу использовать как идентификатор интервала, а также точку отсчёта для вычисления продолжительности качественных интервальных значений (Рис. 1).

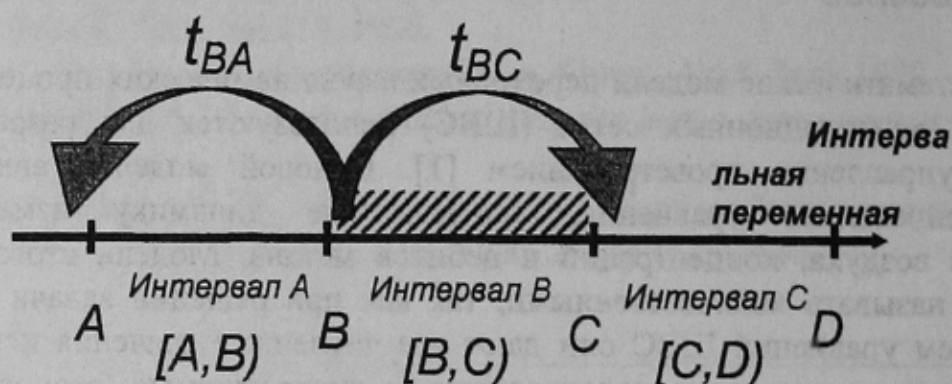


Рис. 1. Представление интервалов и определение продолжительности качественных значений

Для измерения продолжительностей интервальных значений и ситуаций можно использовать количественную модель или реальный объект (рис. 2). На реальном объекте не всегда возможно устанавливать произвольные начальные условия, а также проводить длительные испытания. Количественные модели не накладывают таких ограничений.

При построении моделей будем использовать моделирующую среду MATLAB-SIMULINK. При этом количественные модели реализуются стандартными средствами, а для построения качественной части (работа с ситуационными и интервальными таблицами, измерение и

воспроизведение динамических характеристик) будем использовать специально разработанные средства качественного моделирования.

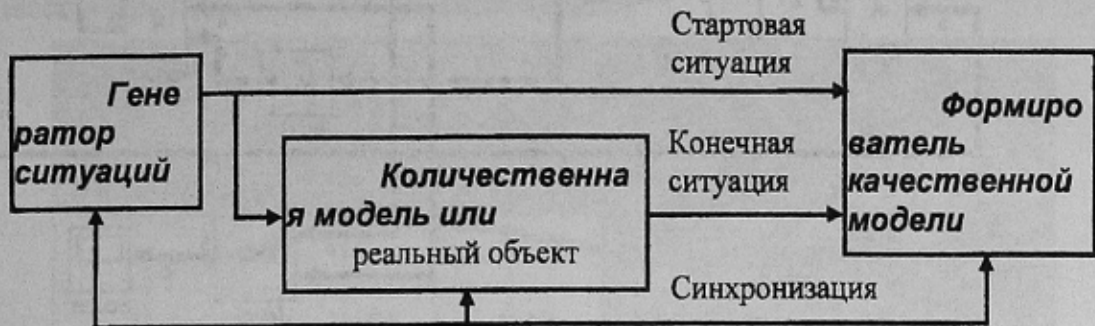


Рис. 2. Комбинированный подход к построению качественной модели

2. Количественная модель

В качестве непрерывной модели шахтной вентиляционной сети будем использовать вектор-модель (рис. 3), основанную на следующих векторно-матричных уравнениях:

$$\begin{cases} X = -WY \\ Y = \int (T_p H - R_p Q | Q |) dt \end{cases}, \quad (1)$$

здесь:

$$W = A_x^{-1} A_y, \quad (2)$$

$$T_p = S U^{-1}, \quad (3)$$

$$R_p = S R U^{-1}, \quad (4)$$

$$U = S_y K_y - S_x K_x A_x^{-1} A_y. \quad (5)$$

Здесь Q – вектор расходов воздуха в ветвях сети, H – вектор депрессий воздуха, создаваемых вентиляторами в ветвях сети, R – диагональная матрица аэродинамических сопротивлений ветвей, K – диагональная матрица аэродинамических коэффициентов, A_x , A_y – подматрицы матрицы инцидентий A для ветвей дерева и антидерева графа вентиляционной сети, S_x , S_y – подматрицы матрицы контуров S , K_x , K_y – подматрицы матрицы K , а X и Y – подвекторы вектора Q , то есть расходы воздуха в ветвях дерева и антидерева графа вентиляционной сети. Более подробно вектор-модель представлена в [2].

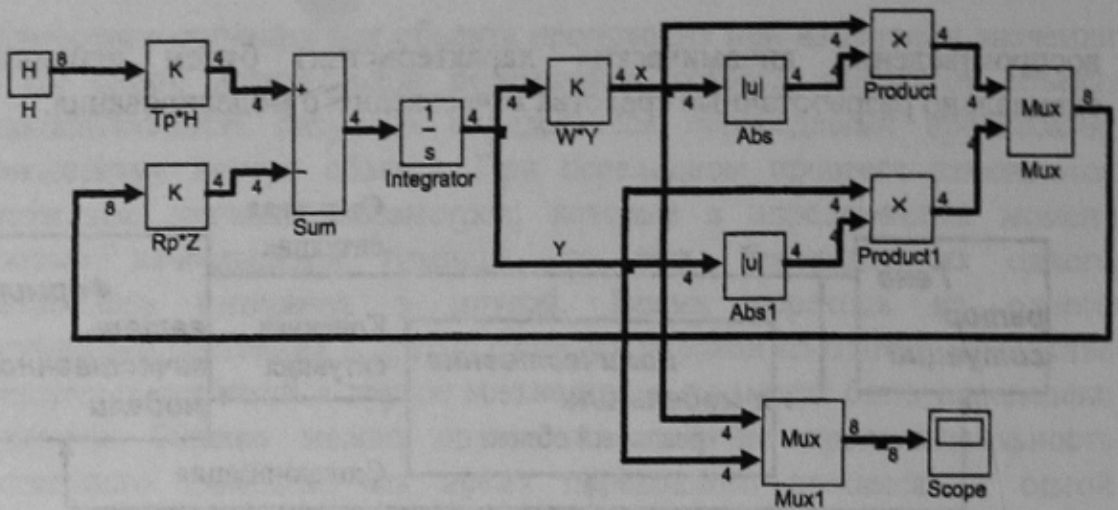


Рис. 3. Количественная вектор-модель вентиляционной сети

После испытания количественной модели получаем следующие переходные процессы после включения вентилятора (Рис.4).

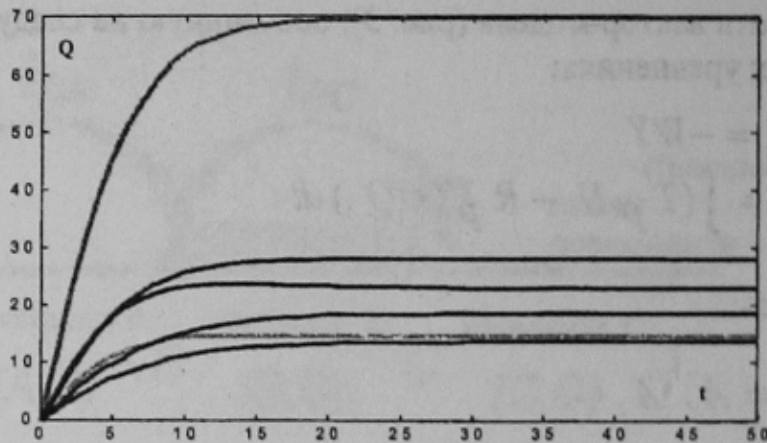


Рис. 4. Результаты испытаний количественной модели

3. Построение и испытание качественной динамической модели с непосредственной связью между ситуациями

Динамические характеристики качественной модели можно представить в виде ситуационной таблицы (рис.5). Каждая строка таблицы описывает одну качественную ситуацию и содержит уникальный идентификатор ситуации - номер, комбинацию значений интервальных переменных, номер следующей ситуации, в которую возможен переход вследствие переходных процессов, и продолжительность ситуации.

Комбинации значений интервальных переменных получают полным перебором сочетаний всех значений каждой переменной. Продолжительность ситуации и номер следующей ситуации получают в процессе испытания количественной модели.

Номер ситуации	Интервальные переменные				Номер следующей ситуации	Продолжитель- ность ситуации
	V_1	V_2	...	V_m		
...
i	$W_{1?}$	$W_{2?}$		$W_{m?}$	k	t_{ix}
...

Рис. 5. Ситуационная таблица качественной динамической модели

Для заполнения динамической таблицы качественной модели строится комбинированная качественно-количественная модель, представленная на рис.6. Количественная часть представлена рассмотренной выше вектор-моделью вентиляционной сети. Качественная часть состоит из различных компонентов доступа к ситуационной и интервальной таблицам и измерения временных параметров.

Процесс испытания количественной модели и заполнения динамической ситуационной таблицы заключается в следующем. Построенный на основе стандартных Simulink-элементов счетчик формирует номер ситуации для селектора ситуации 1, который находит по номеру запись в базе данных с полной информацией о ситуации и выбирает из этой записи комбинацию значений параметров. Комбинация значений поступает в количественную модель 2, определяя начальные условия. В количественной модели начинается процесс численного решения уравнений (1) для получения последующих значений расходов воздуха в вентиляционной сети во времени. Текущие мгновенные значения выдаются из количественной модели для анализа. Качественный фильтр 3 преобразует непрерывные значения параметров в интервальные. Для этого используется интервальная таблица, в которой находятся границы интервалов, меньшие или равные непрерывным значениям параметров.

Другим качественным фильтром 4 находятся границы интервалов, меньших стартовых начальных значений. С помощью логических элементов происходит анализ изменения интервальных значений в большую или меньшую сторону, при этом текущие интервальные значения от фильтра 3 сравниваются с начальными значениями от селектора 1 для обнаружения перехода в правый соседний интервал (с большими значениями) и с выходом фильтра 4 для определения перехода в левый соседний интервал (с меньшими значениями). При этом компонентом 5

измеряется время ожидания изменений (рис. 1). Любое изменение приводит к смене ситуации, а время ожидания изменения является продолжительностью ситуации.

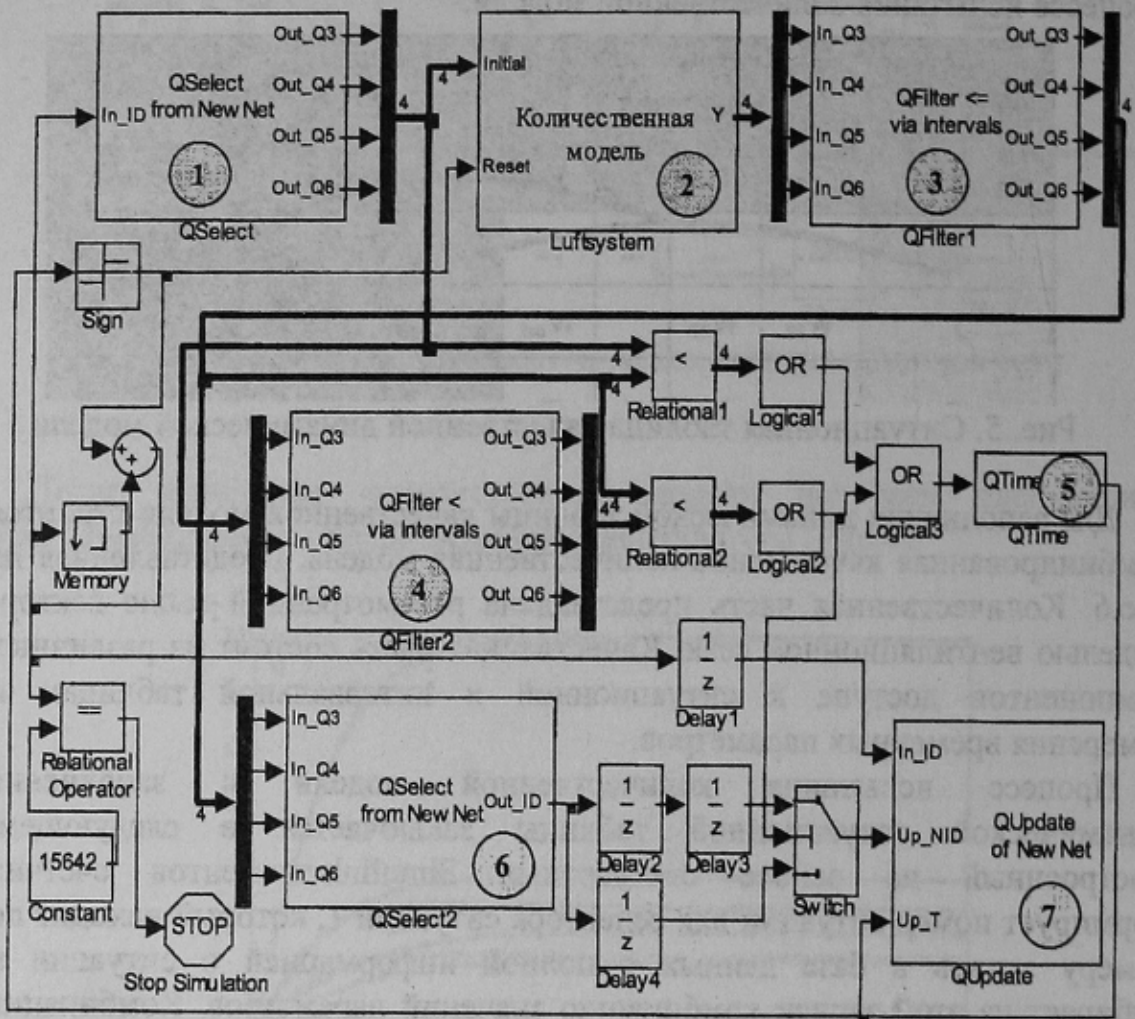


Рис. 6. Комбинированная модель для заполнения ситуационной таблицы

Компонент 5 выдает кратковременный импульс, равный по амплитуде продолжительности временного интервала ожидания, этот импульс увеличивает счетчик ситуаций и перезапускает количественную модель. Селектор 6 определяет номер новой ситуации, осуществляя поиск записи в ситуационной таблице по уникальной комбинации значений и выбирая из записи идентификатор ситуации. Компонент обновления 7 записывает в ситуационную таблицу для начальной ситуации ее продолжительность и номер следующей ситуации, при этом он находит запись в ситуационной таблице по номеру-ключу и обновляет затем два поля в этой записи.

Имея заполненную ситуационную таблицу качественной модели, можно воспроизвести динамические характеристики, то есть получить картину изменения параметров объекта во времени. Для этого используется модель, представленная на рис. 7. Селектор ситуаций ищет

запись в ситуационной таблице по номеру ситуации. Из записи выбирается продолжительность и номер следующей ситуации. Номер следующей ситуации задерживается элементом задержки на продолжительность ситуации и затем подается на селектор. Одновременно из записи ситуации извлекаются значения параметров для визуализации. С помощью качественного фильтра находится вторая граница интервала. Для сравнения результатов параллельно работает количественная модель. Результаты в виде графиков приведены на рис. 8. Пунктиром изображены данные количественной модели.

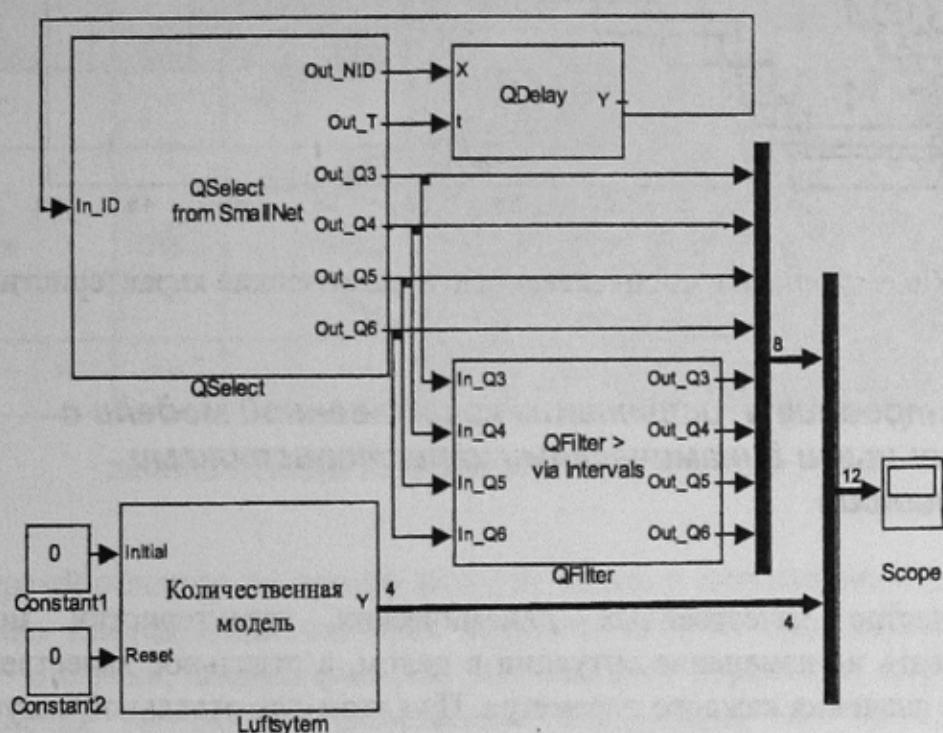


Рис. 7. Модель для воспроизведения качественных динамических характеристик

Качественные динамические характеристики сложного объекта, полученные при испытании модели с непосредственными связями между ситуациями, имеют различную точность для отдельных параметров. При построении качественной модели преимущество в точности получает наиболее быстро изменяющийся параметр, приводящий к смене ситуации, изменение остальных параметров при переходе игнорируется, что приводит к накоплению ошибки, выраженной во временных задержках. Устойчивое состояние переходного процесса достигается для всех параметров с точностью, определяемой интервальным описанием. Для увеличения точности временных характеристик используется другой подход к построению и испытанию качественных моделей.

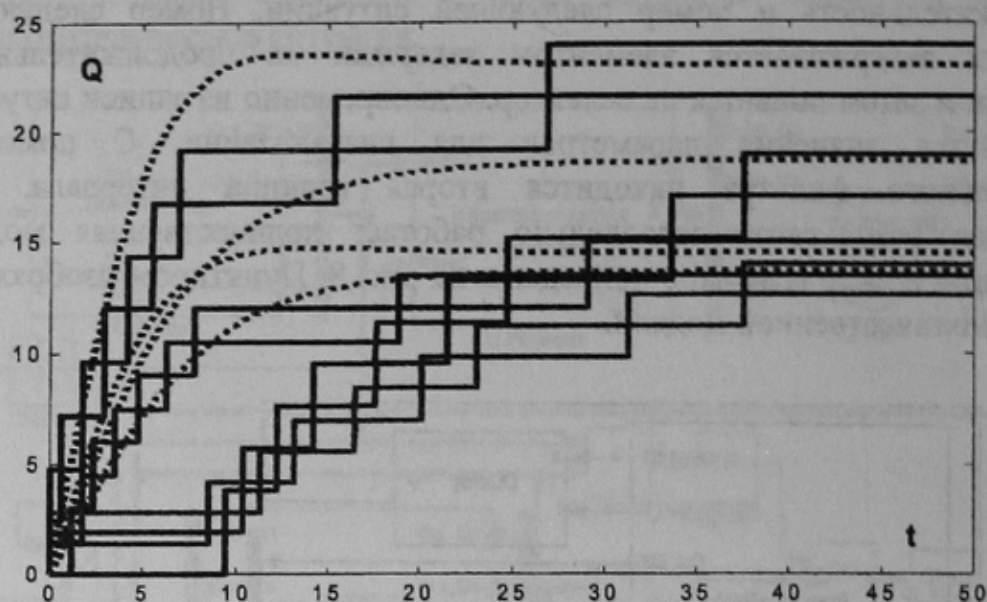


Рис. 8. Качественные и количественные динамические характеристики

4. Построение и испытание качественной модели с отдельными динамическими характеристиками параметров

В качестве качественных динамических характеристик можно рассматривать не изменение ситуации в целом, а отдельное качественное изменение значения каждого параметра. При этом для отдельной ситуации – набора значений параметров – определяется продолжительность каждого параметра-переменной, то есть то время, которое проходит до качественного изменения – перехода из одного интервального значения в другое. Ситуационная таблица для данного метода содержит начальное интервальное значение каждого параметра, конечное значение и его продолжительность для данной ситуации (рис. 9).

Для заполнения динамических характеристик в ситуационной таблице качественной модели используются комбинированные модели, аналогичные модели на рис.6. Отличие состоит в том, что анализ изменений проводится только для одного параметра и соответственно для каждого параметра строится отдельная модель.

Цикл испытания количественной модели повторяется для каждой переменной, при этом исследуются динамические характеристики именно этой переменной и в ситуационной таблице заполняются соответствующие поля.

Для построения динамических характеристик с помощью заполненной ситуационной таблицы предлагается метод «Гонки переменных». Для испытания строится модель, представленная на рис. 10. Она содержит два селектора ситуаций и элементы задержки, по одному для каждой интервальной переменной.

Рис. 9. Ситуационная таблица качественной модели с отдельными

Номер ситуации	Качественные переменные (начальные значения)			Качественные переменные (конечные значения)			Продолжительность качественных переменных		
	SV_1	...	SV_N	EV_1	...	EV_N	T_{V1}	...	T_{VN}
...
m	SW_{1l}	...	SW_{nk}	EW_{1j}	...	EW_{nl}	T_{1j}	...	T_{nl}
...

динамическими характеристиками

Первый селектор по номеру находит запись в ситуационной таблице и выбирает последующие значения переменных и их продолжительности. После задержки, индивидуальной для каждого параметра, формируется комбинация значений, определяющая следующую ситуацию. Второй селектор ищет номер ситуации по уникальному набору значений и передает его первому селектору. При данном испытании качественной модели протекают параллельные процессы для каждой переменной и каждое изменение приводит к смене ситуации. В результате испытаний получены процессы, показанные на рис. 11

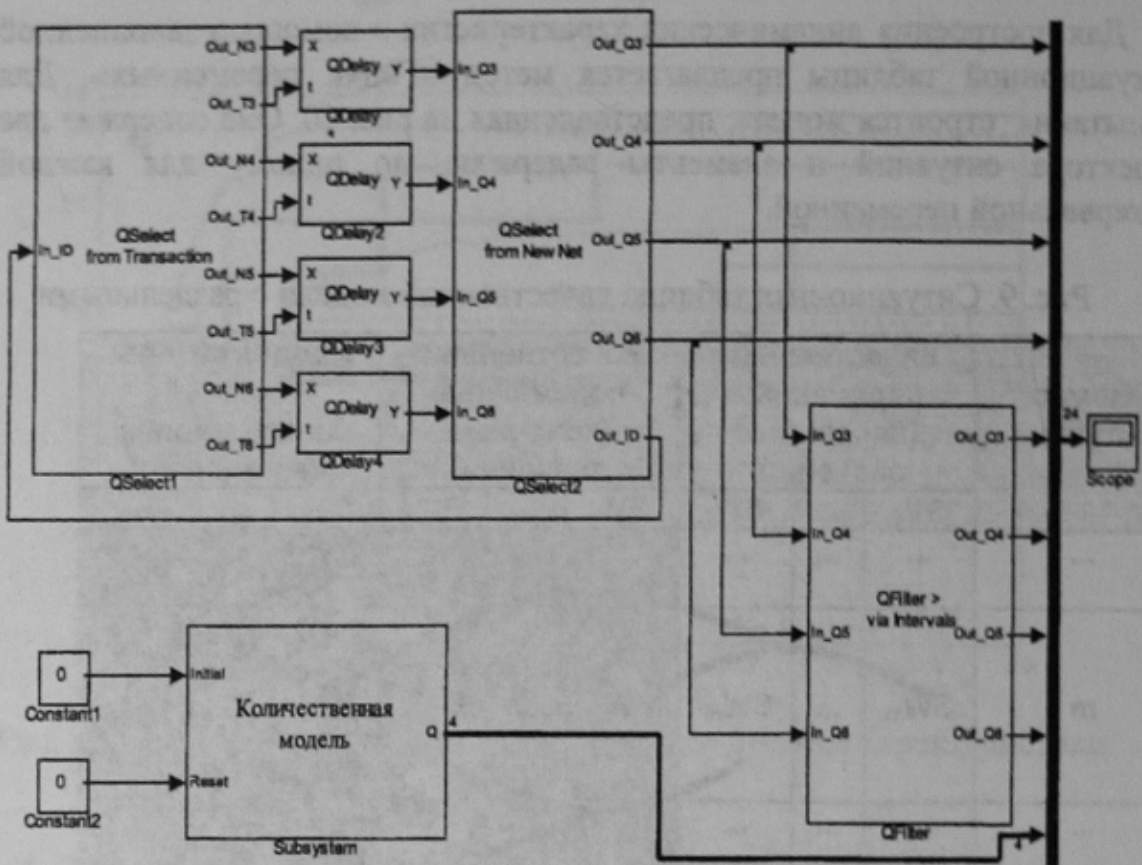


Рис. 10. Испытание качественной модели по методу «Гонки переменных»

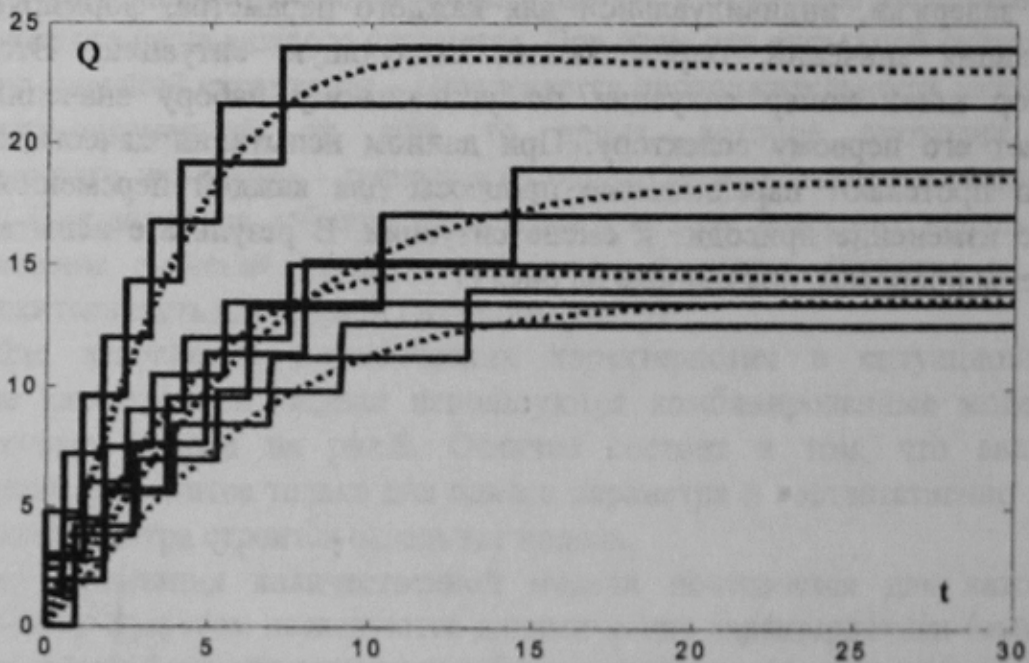


Рис. 11. Результаты испытаний качественной модели по методу «Гонки переменных»

5. Заключение

В статье представлены методы комбинированного построения и испытания качественных ситуационных моделей. Введены понятия продолжительность ситуации и переменной (параметра). Рассмотрено практическое использование средств качественного моделирования, таких как качественный фильтр, селектор ситуации и др. Представлены метод испытаний качественной модели под названием «Гонки переменных» и полученные с его помощью качественные динамические характеристики переходных процессов в вентиляционной сети. Качественные модели будут использованы для анализа опасных по газовому фактору режимов проветривания шахт.

Литература

1. Абрамов Ф.А., Фельдман Л.П., Святный В.А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии – Киев:Наукова думка, 1981г. 283с.
2. Разинков Д. С. Блочно ориентированные simulink-модели динамических сетевых объектов с сосредоточенными параметрами. Наукові праці Донецького технічного університету, Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка", Випуск 6, Донецьк, 1999.
3. Разинков Д. С. Качественное ситуационное моделирование динамических объектов. Наукові праці Донецького технічного університету, Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка", Випуск 15, Донецьк, 2000.

Дата надходження до редколегії: 22.10.2003 р.