

УДК 681.51/.54; 004.942/.4

Т.В. Завадская (ассистент)

Донецкий национальный технический университет
zavadskaja@cs.dgtu.donetsk.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ

Предложена иерархическая структура и разработаны алгоритмы управления системы автоматизации вентиляции шахт. Разработана и исследована блочно-ориентированная (БО) модель системы автоматического управления воздухораспределением. Разработано программное обеспечение, обеспечивающее модельную поддержку всех этапов проектирования систем автоматизации шахтных вентиляционных сетей (ШВС) как объектов управления.

Ключевые слова: система управления, регулятор, шахтная вентиляционная сеть, расход воздуха, депрессия вентилятора, ветвь, блочно-ориентированная модель

Введение

Выемочные участки являются основными объектами проветривания на угольных шахтах. В зависимости от нагрузки на выемочный участок необходимо обеспечивать его соответствующим количеством воздуха. Данная статья является продолжением исследований, проведенных в работах [1,2], где подробно рассмотрен вопрос реализации систем автоматического управления (САУ) схем проветривания выемочных участков (СПВУ) и проведены соответствующие эксперименты, подтверждающие адекватность работы таких систем. Рассмотрим следующие уровни в иерархической структуре системы управления воздухом.

Многосвязная система управления распределением воздушных потоков как объект моделирования

Многосвязная система автоматического управления (МСАУ) расходами воздуха – это система, в которой одновременно работает некоторое множество САУ СПВУ, взаимосвязанных через ШВС как объект управления. Структурная схема системы представлена на рис. 1.

Здесь $Q_{1т}, \dots, Q_{пт}$ – требуемые значения расходов воздуха в ветвях; Q_1, \dots, Q_n – текущие расходы в ветвях ШВС, которые соответствуют выемочным участкам.

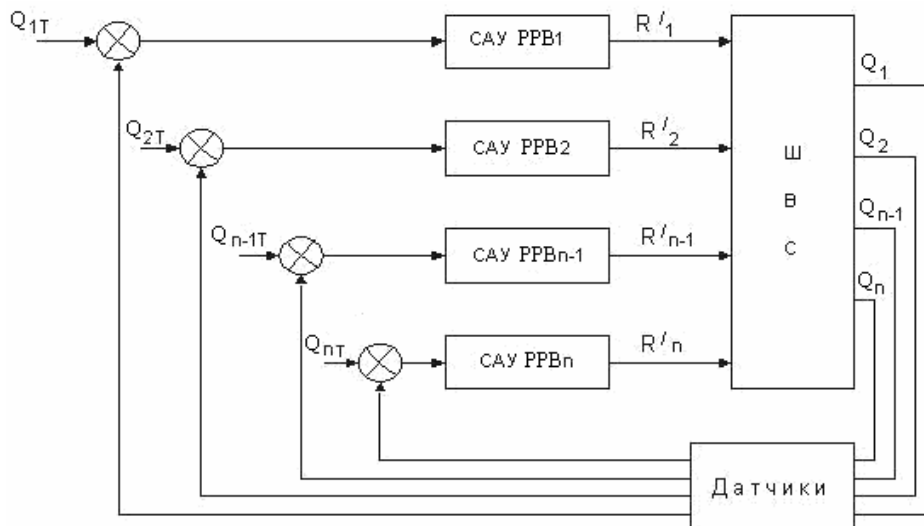


Рисунок 1 – Структурная схема МСАУ

Существует такой вариант, что МСАУ кроме систем управления регуляторами расходов воздуха (РРВ), может содержать групповой регулятор расхода воздуха (ГРРВ). Структурная схема такой системы представлена на рис.2. Пунктирной линией отмечена САУ ГРРВ, структура которой подробно рассмотрена на рис.3.

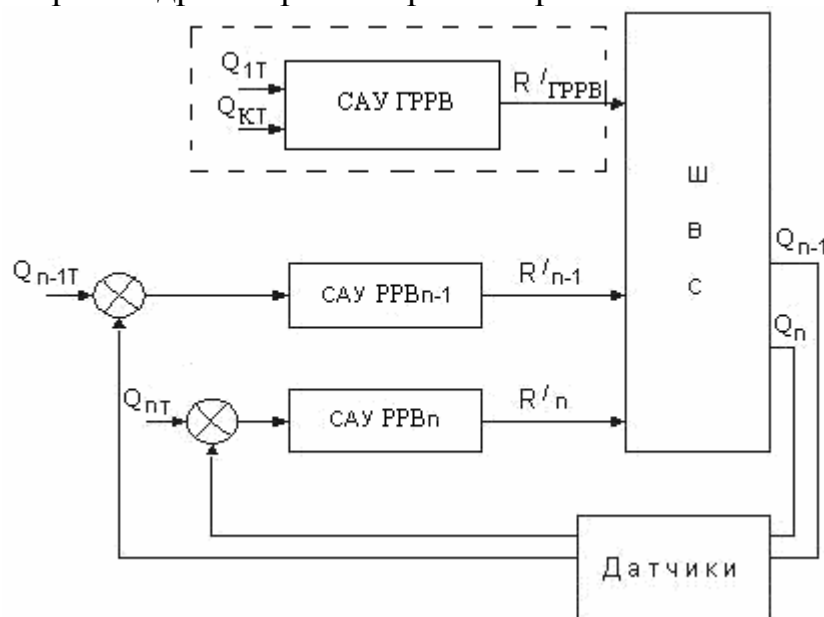


Рисунок 2 – Структурная схема МСАУ с групповым регулятором

САУ групповым регулятором расхода воздуха

Групповой регулятор расхода воздуха устанавливается в выработке, которая объединяет несколько ветвей, имеющих РРВ [3].

Принцип работы группового регулятора расхода воздуха заключается в следующем: если j -й РРВ полностью открылся, а $\Delta Q_j > 0$ (разница между j -м требуемым и текущим расходами воздуха), то этот РРВ

обращается к ГРПВ, который должен увеличить суммарный расход воздуха. Увеличение должно осуществляться автоматически:

1. Сигнал $\Delta Q_j > 0$ подается на ГРПВ, там в блоке уставок вырабатывается сигнал на увеличение воздуха и обрабатывается.

2. Обработка этого сигнала идет в замкнутом контуре «ГРПВ-РРВ_j», т.е. $\Delta Q_j > 0$ управляет перемещением регулирующего органа (РО) ГРПВ до тех пор, пока ΔQ_j не войдет в «зону нечувствительности» РРВ.

3. Стартовым сигналом для блока уставок ГРПВ должен быть сигнал $\alpha_j = 0$ (переменная, характеризующая перемещение j-го регулирующего органа) положения РРВ_j.

4. Если $\alpha_{ГРПВ} = 0$ и $\Delta Q_j > 0$, то это стартовый сигнал для передачи управления на регулятор вентилятора главного проветривания (РВГП).

В иерархической структуре «РРВ-ГРПВ-РВГП» предлагается автоматически решать задачу обеспечения требуемых расходов воздуха при минимальной величине депрессии вентилятора главного проветривания (ВГП) и, следовательно, минимальных затратах энергии на проветривание по алгоритму, который рассматривается далее в системе автоматического управления.

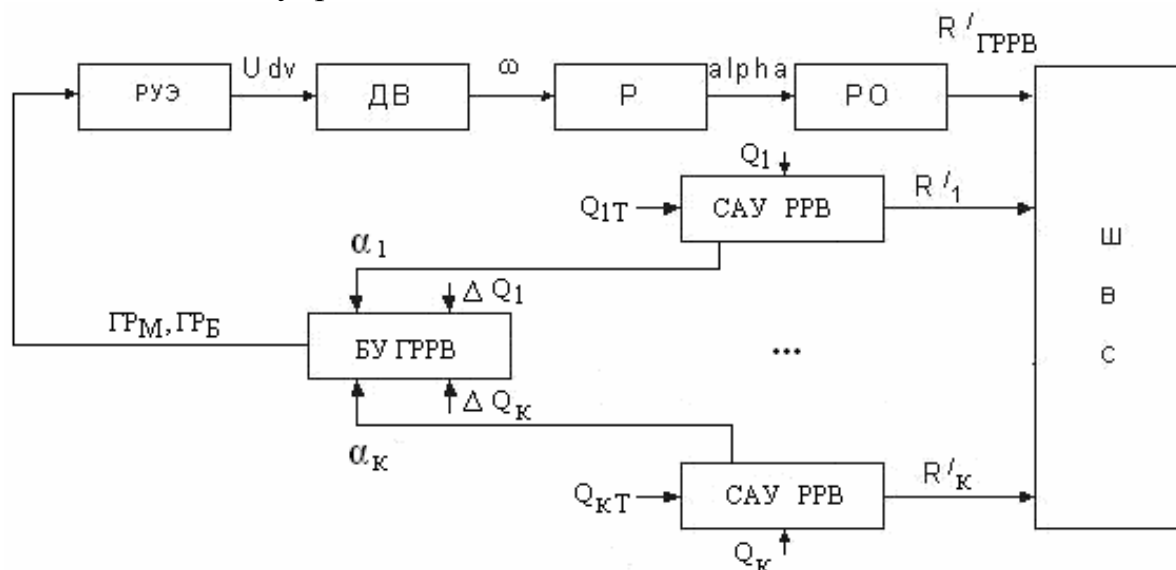


Рисунок 3 – САУ групповым регулятором расхода воздуха

Здесь РУЭ – релейный усилительный элемент; ДВ – двигатель; Р – редуктор; РО – регулирующий орган. Математические модели и принципы работы этих блоков подробно описаны в [1,2].

Система автоматизированного (диспетчерского) управления проветриванием

Предлагаемая структура системы централизованного автоматизированного управления показана на рис. 4.

Через линии связи на вычислительный комплекс (ВК) подаются значения контролируемых расходов воздуха Q и концентраций метана C , информация о положениях регулирующих органов РРВ, ГРРВ, о состояниях регуляторов ВГП. На основе этой информации диспетчер выполняет следующие функции:

1. Задание параметров ШВС и выемочных участков при настройке средств системы.
2. Визуальная оценка Q , C и состояния проветривания участков по данным средств контроля и обработки.
3. Выравнивание расходов воздуха в выработках путем дистанционного управления РРВ и ГРРВ, дистанционное управление ВГП.
4. Корректировочное управление вручную.
5. Оценка качества управления.

Связь оператора с ВК происходит в режиме диалога. При этом операции выполняются как по инициативе диспетчера, так и по инициативе ВК. Тем самым у диспетчера сохраняется контроль за состоянием шахтной атмосферы по данным ВК, принятие решения возможно по одному из вариантов, контроль за ходом управления и оценка его результатов. Системы диспетчерского и автоматического управления имеют общую часть.

Блок-схема алгоритма функционирования этой системы приведена на рис. 5.

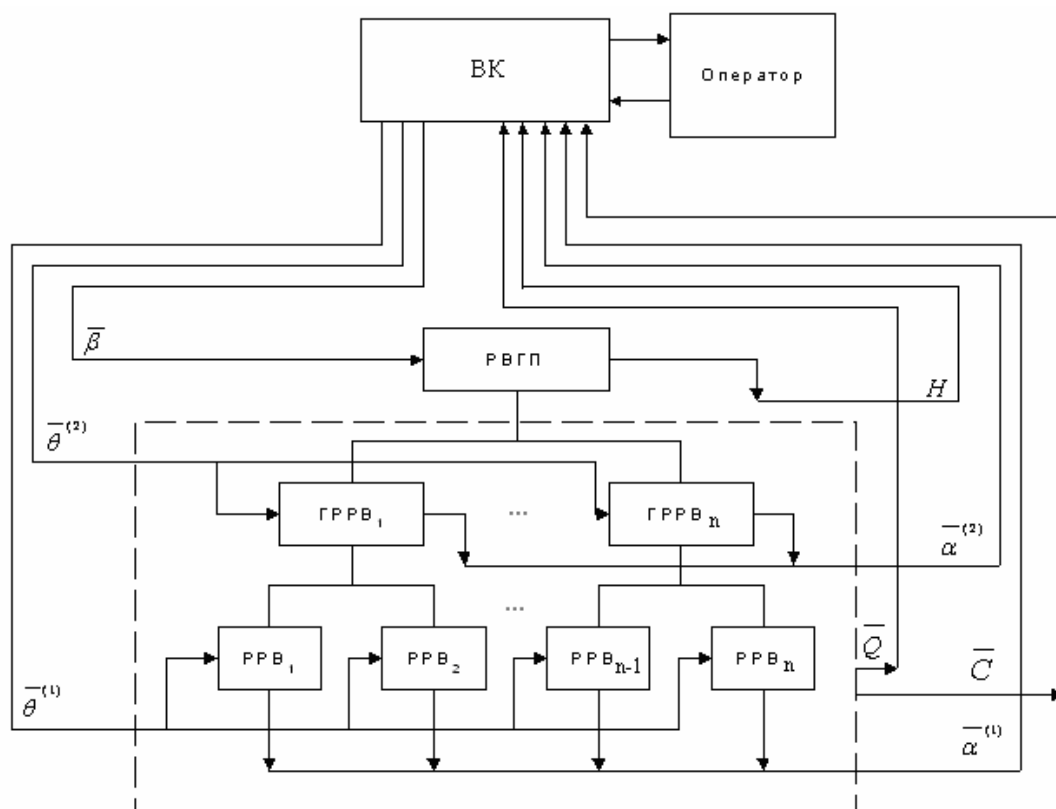


Рисунок 4 – Структура системы централизованного автоматизированного управления проветриванием

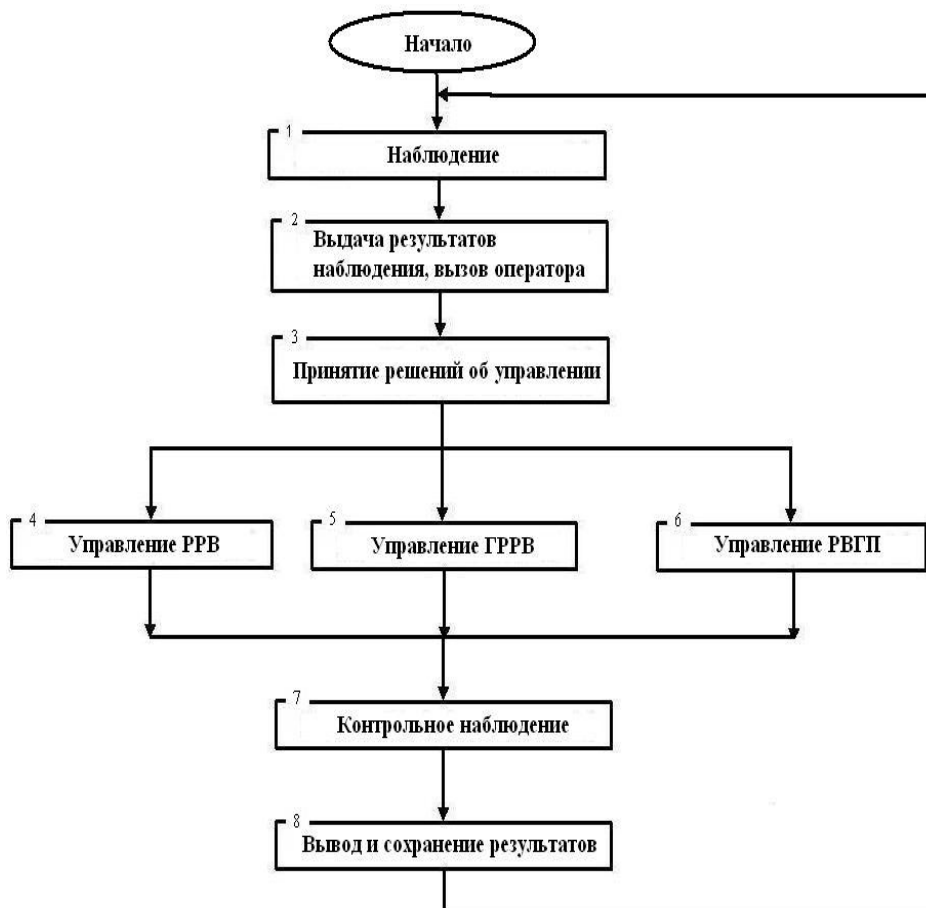


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма автоматизированного управления проветриванием

Система автоматического управления

Переход к автоматическому управлению осуществляется вводом в действие МСАУ расходами воздуха и передачей аппаратуре и программному обеспечению тех функций, которые выполняются оператором при автоматизированном управлении.

Основные операции по управлению должны выполняться вычислительным комплексом, а оператор должен следить за обстановкой и выполнять какие-либо действия, связанные с контролем ситуации в том случае, если данные действия необходимы (в том числе подача сигнала аварийного режима (АР) с пульта оператора).

Предлагается структурная схема технических средств системы автоматического управления распределением воздуха в ШВС (рис. 6), включающая следующие элементы:

1. Объект управления (ШВС), обозначенный на рисунке штриховой линией.

2. Датчики, с помощью которых с объекта снимается следующая информация:

- Н – депрессия ВГП,

- $\bar{\alpha}^{(1,2)}$ – положение регулирующих органов РРВ и ГРРВ,
- \bar{C} – концентрации метана,
- \bar{Q} – потоки воздуха.

3. На выемочных участках расположены регулирующие органы РРВ 1-го уровня, дистанционно управляемые сигналами $\bar{\theta}^{(1)} = (\theta_1^{(1)}, \theta_2^{(1)}, \theta_3^{(1)}, \theta_4^{(1)})$. Эти сигналы могут принимать 3 значения: -1 (уменьшение расхода), 0 ($Q = \text{const}$), 1 (увеличение расхода).

4. Сигналы $\bar{\theta}^{(2)} = (\theta_1^{(2)}, \theta_2^{(2)})$ управляют положением РО ГРРВ в ШВС.

5. На 3-м уровне управления находятся регуляторы вентиляторов главного проветривания (РВГП), которые управляются сигналами $\bar{\beta}$.

6. В структуре работают системы автоматического управления расходами воздуха в выработках 1-го и 2-го уровня, в которых задаются Q_T . САУ 1-го уровня компенсируют аэродинамические возмущения в сети и устанавливают требуемые расходы воздуха Q_T .

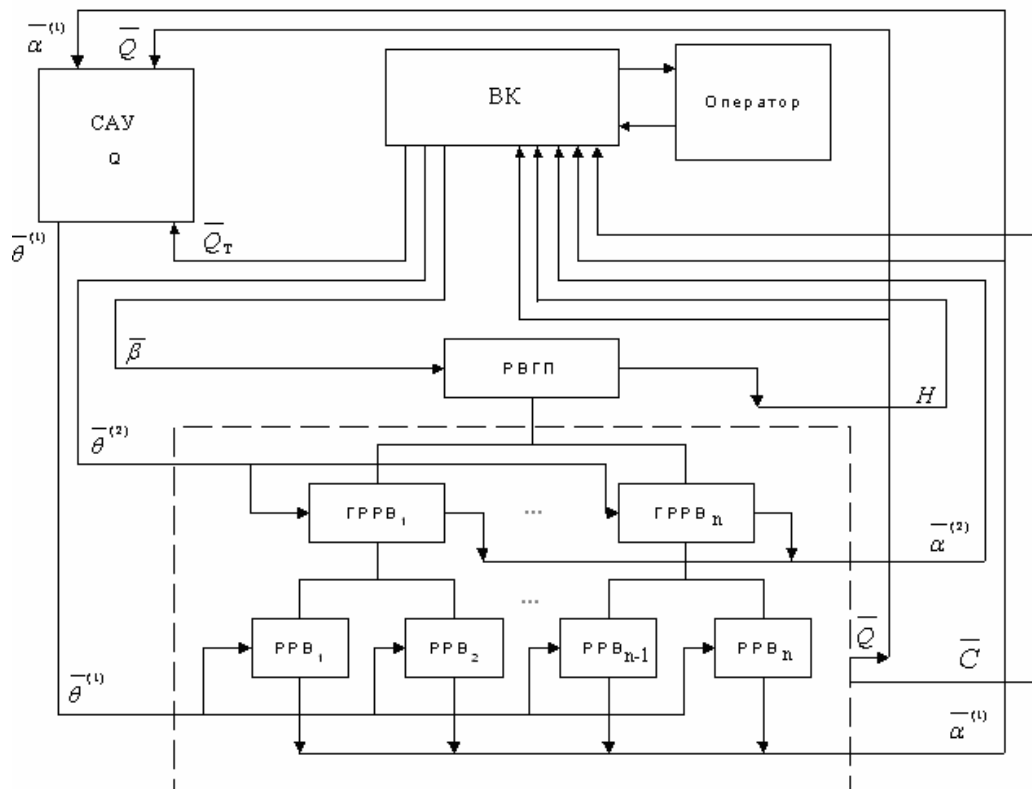


Рисунок 6 – Структура системы автоматического управления проветриванием

Рассмотрим обмен основной информацией между элементами системы:

После обработки $Q(t)$ в ШВС, ВК рассчитывает необходимые расходы и подает данные значения в качестве уставок на САУ-Q

регуляторов 1-го уровня, задачей которых является установление необходимого расхода воздуха.

После этого идет отработка рассчитанных значений необходимых расходов воздуха. После анализа управляющей вычислительной машиной результатов работы САУ-Q 1-го уровня, предусматривается наличие одной из 3-х возможных ситуаций:

1. $|\Delta Q_i| \leq \varepsilon, i=1, n$ – это означает, что на всех участках были достигнуты необходимые расходы с точностью до ε .

2. $\Delta Q_i > \varepsilon, |\Delta Q_k| \leq \varepsilon, i=1, \dots, n_1; k=1, \dots, n_2$ – на части выемочных участков n_2 были достигнуты необходимые значения расходов, а на других n_1 – нет (несмотря на то, что их РРВ достигли полностью открытого состояния ($PO=1$)). На n_2 участках РРВ могут находиться как в состоянии $PO=0$, так и $PO=1$ (т.е. полностью открытое положение РРВ позволяет обеспечить необходимые расходы).

3. $\Delta Q_i > \varepsilon, \Delta Q_k < -\varepsilon, |\Delta Q_p| \leq \varepsilon, AP$, это означает, что на части участков m_2 имеется избыток воздуха. Данная ситуация может возникнуть только в случае неправильного расчета Q или в случае аварии, так как на m_2 участках РРВ оказались закрыты, а расход остается слишком большим.

Далее происходит оптимизация на уровне ГРРВ, т.е. закрывается ГРРВ до тех пор, пока один из РРВ в каждой группе выемочных участков не откроется полностью.

Таким образом, для того, чтобы ГРРВ был остановлен, достаточно, чтобы один из РРВ достиг открытого состояния, а для того, чтобы ГРРВ закрывался – необходимо, чтобы ни один из РРВ не достиг открытого состояния. Данная операция будет повторяться до тех пор, пока все ГРРВ не будут остановлены.

На следующем этапе происходит управление ВГП (РВГП). Здесь производится уменьшение депрессии до тех пор, пока один из ГРРВ полностью не откроется. Далее осуществляется переход на новый цикл управления.

В начале необходимо выделить ГРРВ в каждой группе, где отклонение Q от Q_T является максимальным; после этого выполняется работа ГРРВ и РРВ. ГРРВ будет остановлен, если он полностью открыт. Соответственно ГРРВ будет работать на подачу большего количества воздуха, если максимальное из отклонений остается большим, чем ε , что соответствует ситуации – ГРРВ открыт не полностью, а РРВ в ветви открыт.

Если $|\Delta Q_i| \leq \varepsilon, |\Delta Q_k| \leq \varepsilon$ и ни один из ГРРВ не открылся полностью, то это значит, что в сети образовался резерв по депрессии, и необходимо выполнить оптимизацию по уровню РВГП.

Если $|\Delta Q_i| \leq \varepsilon, |\Delta Q_k| \leq \varepsilon$ и некоторые из ГРРВ достигли полностью открытого положения. Эта ситуация позволяет предположить, что в сети уже установился режим распределения воздуха, который можно назвать оптимальным, однако можно попытаться выполнить оптимизацию по снижению депрессии ВГП. Иначе если часть отклонений все-таки превышает допустимое отклонение, а их ГРРВ уже полностью открыты, то в данной ситуации необходимо добавлять воздух за счет работы уровня РВГП, т.е. следует увеличивать депрессию ВГП.

Далее происходит управление ВГП, за счет которого в сети появится возможность обеспечить необходимые расходы. Депрессия ВГП будет увеличиваться в том случае, если отклонение не было отработано ГРРВ и соответствующий ГРРВ остановлен.

Блок-схема алгоритма автоматического управления проветриванием представлена на рис.7.

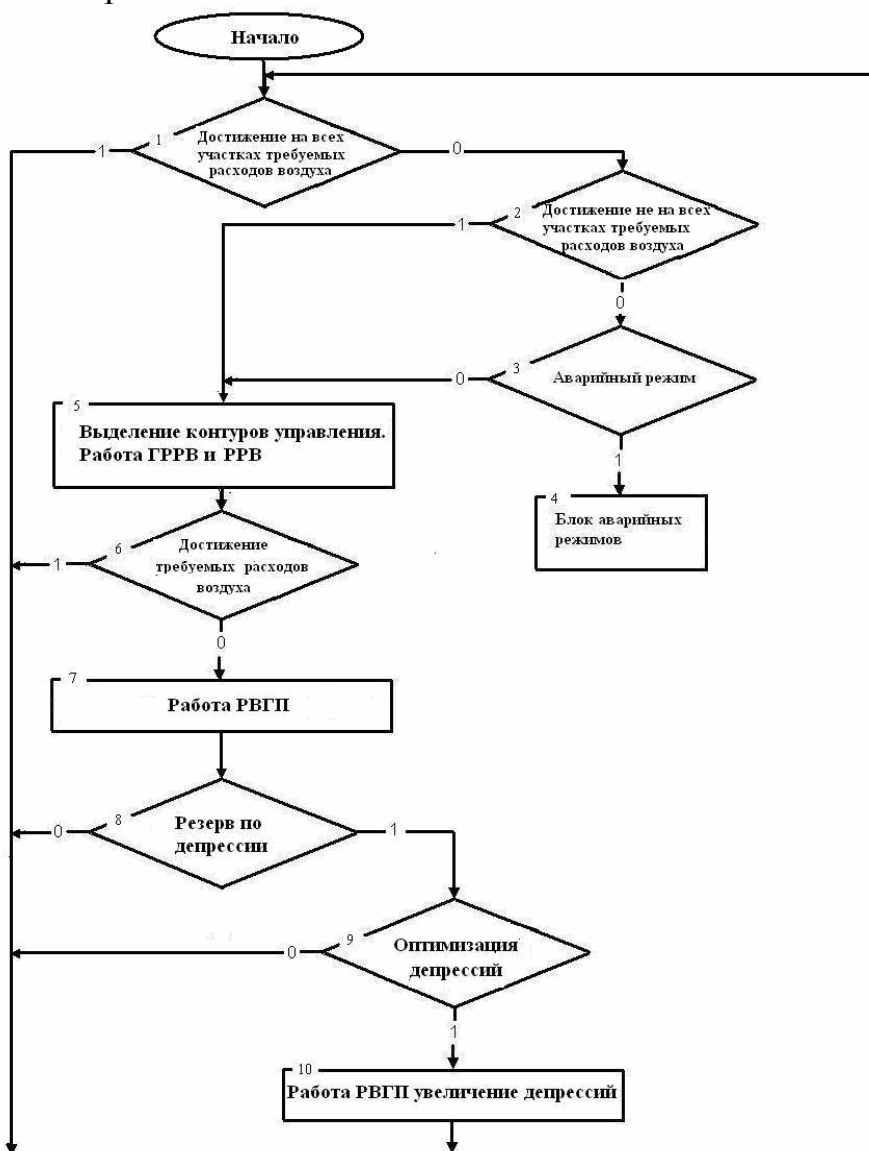


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма автоматического управления проветриванием

Можно сделать вывод, что САУ расходами воздуха обеспечивают автоматическую стабилизацию расходов или их изменение по требуемым расходам. ВК задает уставки на регуляторы Q по результатам обработки входной информации, решает задачу оптимального взаимодействия регуляторов всех уровней.

БО-модель централизованной автоматической системы управления

Построим БО-модель централизованной автоматической системы управления. Будем регулировать воздухораспределение в ШВС путем изменения депрессии ВГП, работ САУ ГРРВ и РРВ. Формальное описание ШВС, математическое описание переходных процессов в сети, принцип построения БО-моделей (при помощи среды для моделирования, имитации и анализа динамических систем Simulink) ШВС и САУ СПВУ и результаты исследований этих моделей предложены в работах [1,2].

Исследуемой шахтной вентиляционной сетью будет абстрактный граф ШВС, которой состоит из 5 узлов и 8 ветвей, в нем определены узлы (U), ветви дерева (X) и антидерева (Y). Поставим в ветви графа ШВС соответствующие САУ (рис.8). БО-модель автоматической системы управления предложена на рис.9, а результаты исследований на рис. 10

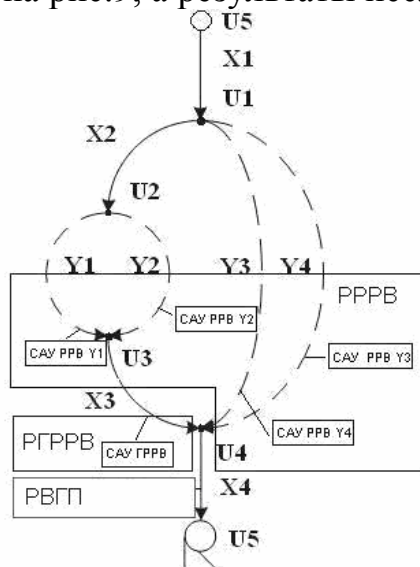


Рисунок 8 – Граф ШВС с размещенными в нем САУ СПВУ, ГРРВ и регулированием РВГП

Рассмотрим следующий эксперимент. Пусть необходимо:

1. в ветви Y1 уменьшить расход воздуха с $13.68 \text{ м}^3/\text{с}$ до $5 \text{ м}^3/\text{с}$,
2. в ветви Y2 уменьшить расход воздуха с $14.46 \text{ м}^3/\text{с}$ до $7 \text{ м}^3/\text{с}$,
3. в ветви Y3 уменьшить расход воздуха с $18.9 \text{ м}^3/\text{с}$ до $8 \text{ м}^3/\text{с}$,
4. в ветви Y4 уменьшить расход воздуха с $23.02 \text{ м}^3/\text{с}$ до $9 \text{ м}^3/\text{с}$.

Как видно из рис.10 все САУ РРВ справились со своей задачей, кроме САУ РРВ Y1, которая по какой-то причине уменьшила расход

только до $10 \text{ м}^3/\text{с}$. В этой ситуации начинает работать САУ ГРПВ. Эксперимент построен таким образом, чтобы САУ ГРПВ тоже не отработала свою уставку и смогла уменьшить расход воздуха в ветви Y1 до $6 \text{ м}^3/\text{с}$. Далее начинается работа по регулированию ВГП. САУ изменит депрессию вентилятора так, чтобы установить требуемый расход в $5 \text{ м}^3/\text{с}$.

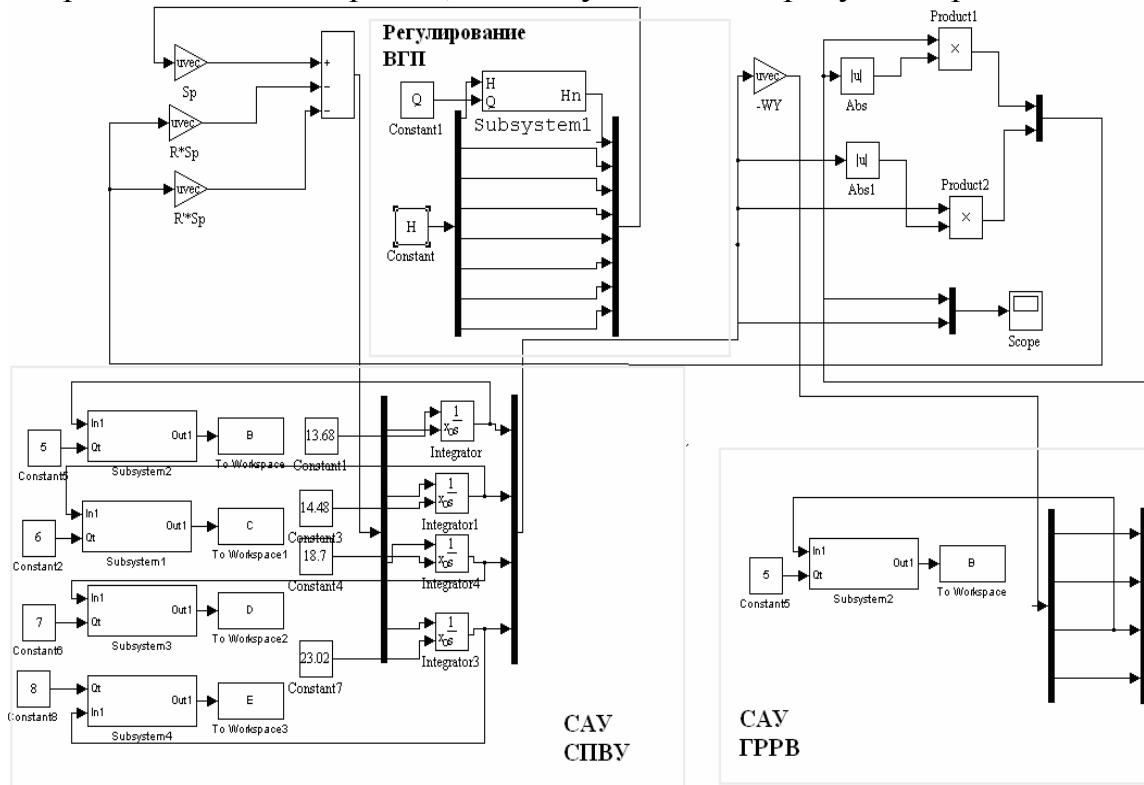


Рисунок 9 – БО-модель централизованной системы управления для тестовой ШВС

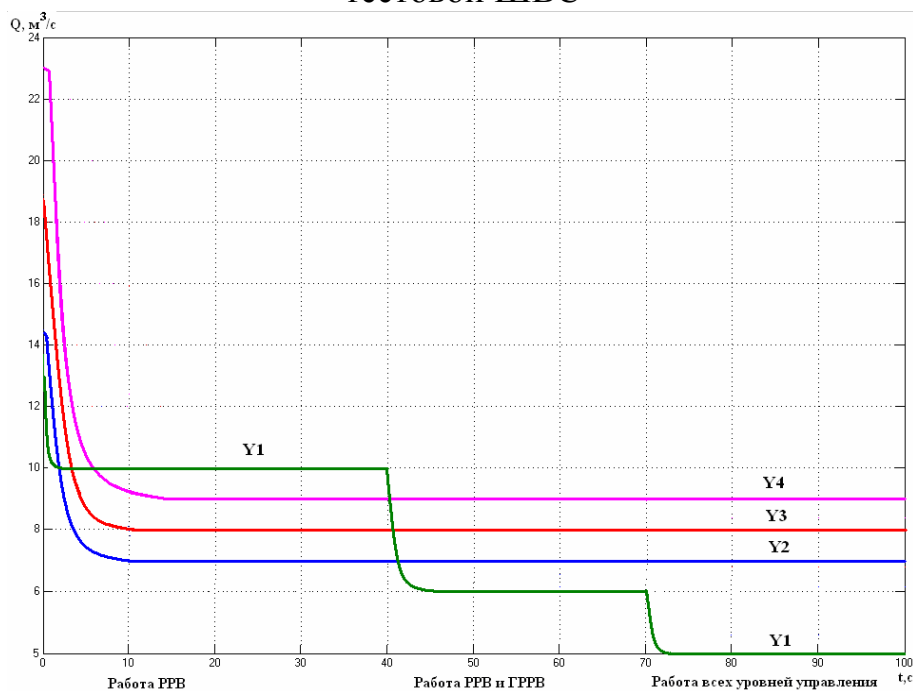


Рисунок 10 – Результаты моделирования всех систем управления

Для обеспечения компьютерной поддержки всех трудоемких процессов проектирования и управления ШВС, а также для подключения исследуемой ШВС к моделирующему сервисному центру (МСЦ) угольной промышленности разработано специальное программное обеспечение (рис.11).

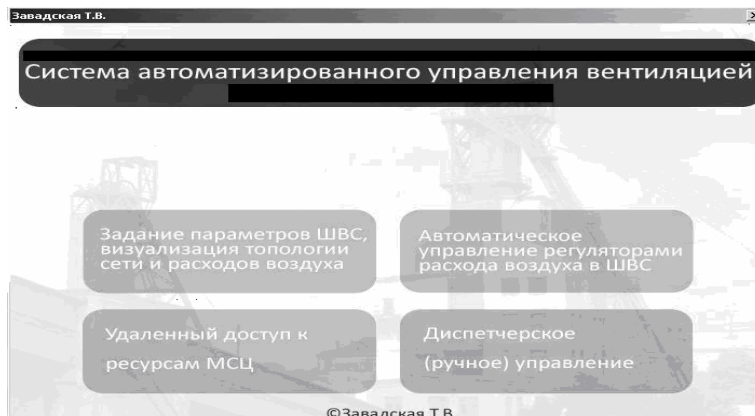


Рисунок 11 – Интерфейс приложения

Главное меню приложения представляет собой окно с четырьмя элементами выбора (кнопками) необходимого пункта для пользователя. При выборе первого пункта «Задание параметров ШВС, визуализация топологии сети и расходов воздуха» можно задавать новые, загружать и сохранять параметры, необходимые для проектирования графа ШВС и дальнейшего их использования, а также просмотреть результаты моделирования путем построения графика аэродинамических процессов, происходящих в сети, для выбранной ветви.

По умолчанию система работает в автоматическом режиме управления. Здесь пользователь имеет возможность просмотра состояния воздухораспределения в сети и принятия решений о переходе к диспетчерскому управлению.

Для диспетчерского управления отображаются фрагменты графа ШВС, с подключенными к нему САУ. Пользователь может производить управление всеми регуляторами расхода воздуха и изменять депрессию ВГП. После просмотра результатов пользователь сам определяет, следует ли проводить дальнейшее управление.

При выборе пункта «Удаленный доступ к ресурсам МСЦ» пользователь может произвести моделирование аэродинамических процессов на параллельных вычислительных ресурсах. По окончании процесса моделирования результаты загружаются на локальный компьютер.

Выводы

В системе автоматизации вентиляции шахты предложено выделить следующие уровни управления: САУ расходом воздуха на участке; многосвязная САУ; САУ групповым регулятором расхода воздуха;

диспетчерская и автоматическая системы управления воздушными потоками. По результатам моделирования можно оценить эффективность и достаточность построенной БО-модели автоматической системы управления воздухораспределением. Разработано действующее программное обеспечение, обеспечивающее все этапы построения моделей ШВС и управления воздушными потоками.

Список используемой литературы

1. Завадская Т.В. Блочно-ориентированная модель системы многосвязного управления воздухораспределением в шахтной вентиляционной сети [Текст] / Т. В. Завадская // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем» (МАП-2008). – 2008. – Вип. 7 (150). С. 104-115. ISSN 2074-7888.
2. Завадская Т.В. Блочно-ориентированная модель системы автоматического управления регуляторами расхода воздуха в шахтной вентиляционной сети [Текст] / Т.В. Завадская // Научно-технический журнал. Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – Вип. 7 (48).– С. 152-156 ISSN 1814-4225.
3. Клепиков Б.А. Рациональное размещение отрицательных регуляторов распределения воздуха [Текст] / Б.А. Клепиков // Уголь Украины – 1965, №1. – С. 39-41. ISSN 0041-5804.

Надійшла до редакції 27.09.2012 р.

Рецензент: д-р.тех.наук, проф., Святный В.А

Т.В. Завадська

Донецький національний технічний університет

Моделювання структур та алгоритмів управління системи автоматизації вентиляції шахт. Запропонована ієрархічна структура та розроблені алгоритми управління системи автоматизації вентиляції шахт. Розроблена і досліджена блочно-орієнтована модель системи автоматичного управління повітрярозподіленням. Розроблено програмне забезпечення, що забезпечує модельну підтримку всіх етапів проектування систем автоматизації шахтних вентиляційних мереж як об'єктів управління.

Ключові слова: система управління, регулятор, шахтна вентиляційна мережа, витрата повітря, депресія вентилятора, гілка, блочно-орієнтована модель

T.V Zavadskaya

Donetsk National Technical University

Modeling structures and control algorithms of coal mines ventilation automation system. We proposed the hierarchical structure and developed the algorithms for ventilation automation system control of coal mines. The block-oriented model of air distribution system automatic control is developed and investigated. We proposed software that provides modeling support for all the stages of automation system of coal mine ventilation networks as control objects.

Keywords: control system, regulator, mine ventilation network, consumption of air, depression of fan, branch, block-oriented model