

УДК 681.5

О. Ю. Чередникова (ассистент)

Донецкий национальный технический университет

ola@cs.dgtu.donetsk.ua

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ КОНТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ ДОБЫЧНЫХ УЧАСТКОВ

Разработаны алгоритмы квазиоптимального по быстродействию управления выемочным участком по газу с ограничением концентрации метана на расчетном уровне и структура контура диспетчерского управления вентиляцией подземных выработок на основе микропроцессорной системы КАГИ. Процессы управления исследованы методами математического моделирования на двух участках тестовой шахтной вентиляционной сети.

Ключевые слова: концентрация метана, фазовые траектории, алгоритм оптимального управления, контур диспетчерского управления

Введение

Общая задача контроля и автоматизированного управления проветриванием участков шахтной вентиляционной сети (ШВС) включает в себя ряд взаимосвязанных задач по определению состояния вентиляционной сети, регулированию режимов работы вентиляторов главного проветривания, перераспределению воздуха между главными выработками и оптимизации по критерию безопасности режимов проветривания добычных участков. Для минимизации времени отработки штатного режима проветривания перевод участка в новое расчетное состояние целесообразно осуществлять наилучшим (оптимальным) по быстродействию образом, а при наличии на участке необходимых вентиляционных ресурсов, с ограничением концентрации метана на безопасном уровне. Разработке эффективных способов отработки на выемочных участках желаемого дебита воздуха посвящено значительное количество работ [1-3]. Однако в силу неминимально-фазового характера переходных процессов по газу на участках (наличие «всплесков» концентрации метана) и существенной инерционности газодинамических процессов решение проблемы безопасного и эффективного маневрирования дебитом воздуха с целью установления требуемого уровня концентрации метана на добычных участках все еще далеко от завершения.

Структура контура диспетчерского контроля и управления вентиляцией подземных выработок микропроцессорной системы АСУ ТП угольных шахт КАГИ

Для управления на участках в современной практике контроля и автоматизированного управления аэрогазовыми процессами на выемочных участках ШВС широко применяются микропроцессорные вычислительные средства. В настоящее время наибольшее практическое применение на шахтах Донбасса нашла микропроцессорная система автоматизированного контроля параметров рудничной атмосферы (комплекс аэрогазовый информационный - КАГИ) [4]. В Донбассе участки автоматизированного газового контроля (АГК) шахт третьей и выше категории полностью оснащены этими системами. Достоинством аппаратно-программных средств КАГИ является его модульная структура и широкие возможности ее адаптации к различным структурам аппаратных средств сбора первичной информации и расширения ее параметрической базы с применением новых сенсоров для контроля различных параметров безопасности и сопряженными с ними технологическими системами подземного горнодобывающего комплекса. Алгоритмически средства КАГИ обладают свойством открытости и функциональной расширяемости, что позволяет использовать эту систему для программной поддержки диспетчерского управления проветриванием выемочных участков. Базовым компонентом КАГИ (рис. 1) является стойка приема информации (СПИ), которая обеспечивает физическую и логическую совместимость подземных комплектов сбора первичной информации – датчиков расхода воздуха и концентрации метана со средствами микропроцессорной обработки. Основным вариантом построения микропроцессорного блока КАГИ является использование типовой микропроцессорной системы контроля и управления (МСКУ) с требуемой конфигурацией устройств связи, измерительных каналов и интерфейсов сопряжения с ПЭВМ верхнего уровня. Совместно и согласованно микропроцессорный вычислитель МСКУ и ПЭВМ реализуют алгоритмы обработки первичной информации и обеспечивают поддержку дружественного интерфейса с оперативным персоналом, а также связь со средствами формирования базы данных сервера. ПЭВМ в системе диспетчерского управления проветриванием может быть использован также для контроля и автоматизированного управления аэрогазовой обстановкой на участке. Результаты расчетов требуемых сигналов управления ПЭВМ посредством МСКУ могут выдаваться как сигналы прямого включения, реверса или останова на исполнительные двигатели регулятора расхода воздуха (РРВ), которые изменяют положение шибера, что приводит к изменению общего аэродинамического сопротивления в регулируемой выработке и расхода воздуха.

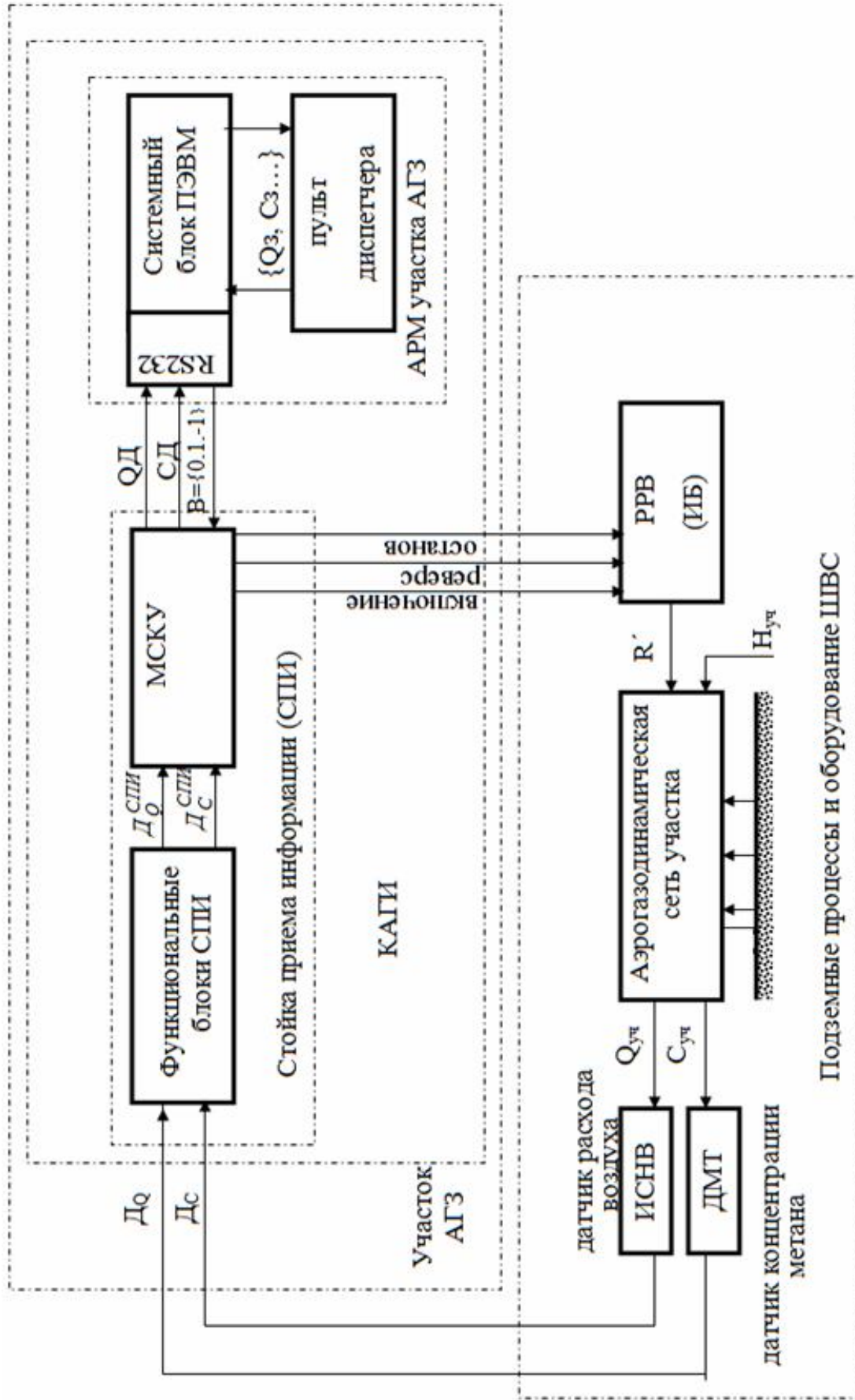


Рисунок 1 - Структура контура диспетчерского контроля и управления вентиляцией подземных выработок на основе микропроцессорной системы КАГИ

Разработка алгоритмов безопасного квазиоптимального по быстрдействию управления проветриванием выемочных участков

Разработка новых подходов к установлению желаемого расхода на метанообильных добычных участках осуществлялась для условий контура диспетчерского регулирования проветриванием участков микропроцессорной системы АСУ ТП угольных шахт КАГИ (рис.2).

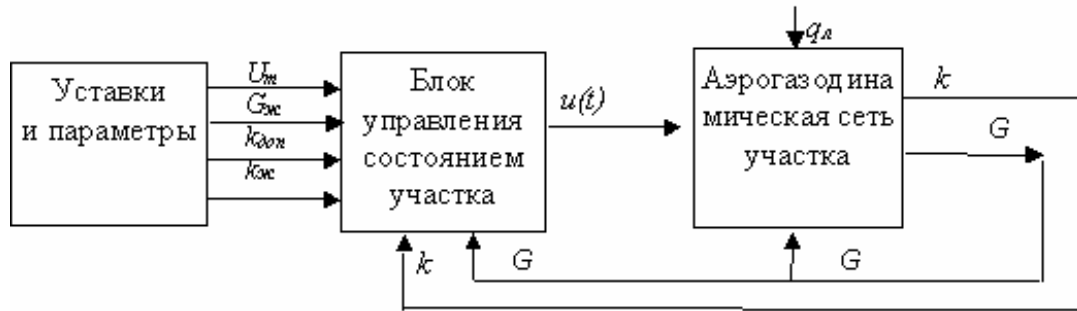


Рисунок 2 – Обобщенная структура контура диспетчерского управления участком по газу АСУ ТП угольных шахт КАГИ

Основой блока управления по газовому фактору является блок оптимального управления, построенный на основе данных о желаемом ($G_{жс}$) и текущем (G) расходах воздуха, допустимом ($k_{дон}$), расчетном (номинальном) ($k_{жс}$) и текущем (k) уровне концентрации метана.

Целью регулирования является отработка оптимальным по быстрдействию желаемого расхода воздуха $G_{жс}$ и расчетного штатного режима по концентрации метана, т.е. установление концентрации метана на штатном (номинальном) уровне ($k_{жс}=k_{шт}=0$) при наличии возмущающего воздействия по газу (например, при $q_л \neq 0$). При этом для обеспечения безопасных условий работы шахтеров концентрация метана при наличии на участке необходимых вентиляционных ресурсов в процессе управления не должна превышать некоторого допустимого расчетного уровня ($k_{дон}$).

Для описания и анализа динамики процессов управления на выемочном участке была использована приближенная математическая модель [5] процессов газовыделения из выработанного пространства и изменения концентрации метана в исходящей струе участка:

$$\frac{dq_e}{dt} + \frac{1}{T_e} q_e = mU; \quad (1)$$

$$k = \theta_l q_l + \theta_e q_e - G; \quad (2)$$

$$G(t) = G_3(t) + G_e(t); \quad (3)$$

$$dG_3/dt = U, \quad (4)$$

где U – функция, задающая желаемую скорость изменения расхода воздуха на участке, принятая в системе регулирования в качестве управляющего воздействия; G_3 – заданное значение дебита воздуха на участке; G_0 – возмущения по воздуху; m – коэффициент турбулентности утечек воздуха в выработанном пространстве; $q_в, q_л$ – относительное приращение дебита метана соответственно из выработанного пространства и лавы. $\theta_в, \theta_л$ – газодинамические коэффициенты участка; $T_в$ – время однократного обмена воздуха в объеме выработанного пространства.

При регулировании расхода воздуха регулятор расхода воздуха (рис.1) изменяет аэродинамическое сопротивление $R'(t)$ дросселирующего устройства вентиляционной сети участка и формирует регулируемую координату – поток воздуха на участке. При этом согласно (3) заданное значение дебита воздуха (G_3) в регуляторе расхода воздуха формируется в соответствии с законом:

$$G_3(t) = G_0 + \int_0^t U dt,$$

где G_0 – исходное (до начала регулирования) значение дебита воздуха на участке.

Для обеспечения наилучшего по быстродействию управления в соответствии с теоремой Фельдбаума «об n интервалах» выемочный участок, описываемый системой второго порядка (1-4), должен иметь максимально две линии оптимальных по быстродействию фазовых траекторий при предельно допустимых значениях управления ($U = \pm U_m$) и одно переключение знака управления (точку реверса). Для формирования момента переключения управляющего воздействия были построены из желаемого состояния участка методом «попятного» движения линии переключения в фазовой плоскости « $G-k$ » при максимально допустимых значениях управления $U = \pm U_m$. Оптимальный по быстродействию алгоритм управления сводится к определению точки реверса управляющего воздействия в плоскости ($G-k$):

$$U = U_m \cdot \text{sign} (k_{\phi n}) ,$$

где $k_{\phi n} = k - k_{лн}$ – функция переключения знака управления; $k_{лн}$ – уравнение линии переключения знака управления в плоскости ($G-k$);

$$k_{лн} = \begin{cases} k_m(G) = \theta_в \cdot m \cdot \overline{U_m} \cdot (e^{(G-G_{жс})/\overline{U_m}} - 1) - G, \text{ если } G \geq G_{жс}; \\ k_p(G) = \theta_л \cdot m \cdot \overline{U_m} (1 - e^{-(G-G_{жс})/\overline{U_m}}) - G, \text{ если } G < G_{жс}. \end{cases}$$

где $k_m(G)$, $k_p(G)$ – уравнения фазовых траекторий, проходящих через конечное положение состояния участка ($G_{жс}, 0$) соответственно при отрицательном ($U = -U_m$) и положительном ($U = +U_m$) значениях управляющего воздействия; $\overline{U_m} = T_в \cdot U_m$.

Методами математического моделирования для оптимальных по быстродействию процессов управления рассчитаны рациональные значения предельных уровней управляющих воздействий ($\pm U_m$) с позиции времени регулирования и умеренного всплеска концентрации метана. Из полученных количественных зависимостей вытекает, что при $\overline{U_m} = U_m \cdot T_e \geq 2$ время регулирования практически не снижается, а превышение концентрацией метана исходного уровня существенно возрастает. В силу этого наиболее приемлемым значением модуля управления является $\overline{U_m} = 2$. Отметим, что в этом случае при типовых постоянных времени участка $T_e = 30 \div 60$ мин. рассчитанный оптимальный уровень модуля управляющего воздействия составляет $U_m \approx 2/T_e = (1.1 \div 0.55) 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. При этом уровне управления заведомо обеспечивается отсутствие волновых процессов в вентиляционной сети, что значительно упрощает реализацию регулятора расхода воздуха.

При реализации безопасного алгоритма управления проветриванием концентрация метана не должна превышать допустимый уровень $k_{дон} = 0.33$. В силу этого при достижении предельно допустимого уровня концентрации метана алгоритм оптимального по быстродействию управления должен трансформироваться таким образом, чтобы изображающая точка, попав в зону допустимых значений концентрации метана, «скользила» вдоль линии допустимого уровня $k = k_{дон}$, продолжая свое движение к линии переключения, по которой оптимальным по быстродействию образом возможна отработка конечного состояния. Для реализации «скользящего» режима управления переключение знака управляющего воздействия (для задания порога переключения релейного управления) введены две линии переключения: верхняя $k_в = k_{дон}$ и параллельная ей линия нижнего уровня $k_н = k_{дон} - \Delta k$. Очевидно, что в этом случае в процессе отработки $G = G_{жс}$ изображающая точка в среднем будет двигаться вокруг среднего уровня $k_{ср} = (k_{дон} - k_н) / 2$, который в автоколебательном режиме будет выступать как задающее значение концентрации метана. Отметим, что при достаточно малом значении $\Delta k = k_{дон} - k_н$ уровни $k_{ср}$ и $k_{дон}$ практически будут совпадать, что обеспечит скольжение изображающей точки вблизи $k_{ср} \approx k_{дон}$ ($k_{ср} < k_{дон}$) при регулировании расхода воздуха.

Аналитически было определено, что в подобласти, соответствующей $q_в > 0$ возможно увеличение расхода воздуха с ограничением концентрации метана на безопасном уровне, а в подобласти $q_в < 0$ регулирование расхода воздуха с ограничением концентрации метана на заданном уровне возможно, только при уменьшении расхода воздуха, т.е. при этом условии невозможно обеспечить безопасное управление.

На рис.4 показана блок-схема процедуры формирования управляющего воздействия.

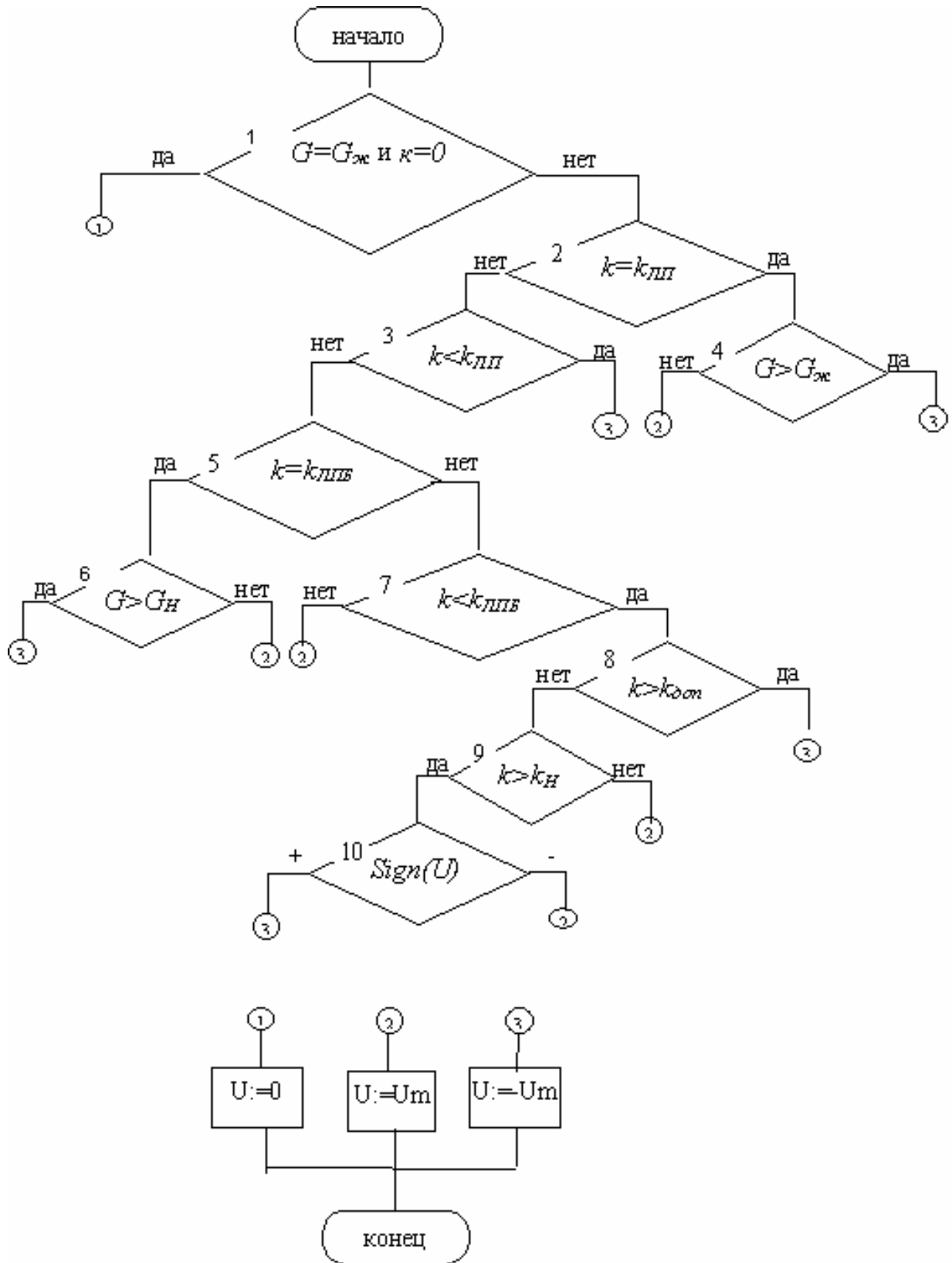


Рисунок 4 - Алгоритм квазиоптимального по быстродействию безопасного управления проветриванием добычного участка

Управление считается завершенным, если расход воздуха и концентрация метана достигли желаемых значений. При достижении этого условия в блоке 1 формируется нулевое управляющее воздействие, иначе определяется положение изображающей точки относительно линии переключения, проходящей через конечное желаемое состояние. При этом возможны следующие логические законы управления:

- если изображающая точка принадлежит линии переключения (блок 2) и текущее значение расхода воздуха больше желаемого, то формируется отрицательное управляющее воздействие, иначе – положительное;
- если изображающая точка системы находится ниже линии переключения (блок 3), то генерируется отрицательное управляющее воздействие;
- если изображающая точка системы находится выше линии переключения, то алгоритм управления зависит от ее положения относительно «безопасной» линии переключения, обеспечивающей быструю перевод участка на безопасный уровень (блоки 5, 7). В случае, если изображающая точка системы находится на линии переключения оптимального по времени перевода участка на безопасный уровень и текущее значение расхода воздуха больше нижнего значения, то формируется отрицательное управляющее воздействие, иначе – положительное (блоки 5, 6). В случае, если изображающая точка системы находится выше линии переключения, то при оптимальном по времени переводе участка на безопасный уровень, генерируется положительное управляющее воздействие (блок 7). При исходном положении изображающей точки ниже линии безопасного переключения и концентрации метана выше допустимого уровня $k_{дон}$, формируется отрицательное управляющее воздействие (блок 8). В этом случае, если концентрация метана меньше расчетного нижнего значения k_H , то вырабатывается положительное управляющее воздействие (блок 9). При концентрации метана в зоне скользящего режима ($k_{дон} > k > k_H$) управляющее воздействие в системе остается без изменений (блоки 8, 9, 10).

Экспериментальные исследования квазиоптимальных по быстродействию алгоритмов безопасного управления по газу на выемочных участках управляемой ШВС

Для исследования алгоритмов автоматизированного управления использовалась аналого-цифровая математическая модель контура контроля вентиляции системы КАГИ. Разработанная модель безопасного регулирования расходом воздуха на участке ШВС была имплементирована для двух параллельных участков тестовой управляемой ШВС.

Процессы совместного и согласованного регулирования дебита воздуха одновременно на двух участках показаны на рис.5, 6. При этом на первом участке (рис. 5) на отрезке оси времени от 690с. до 970с., а затем

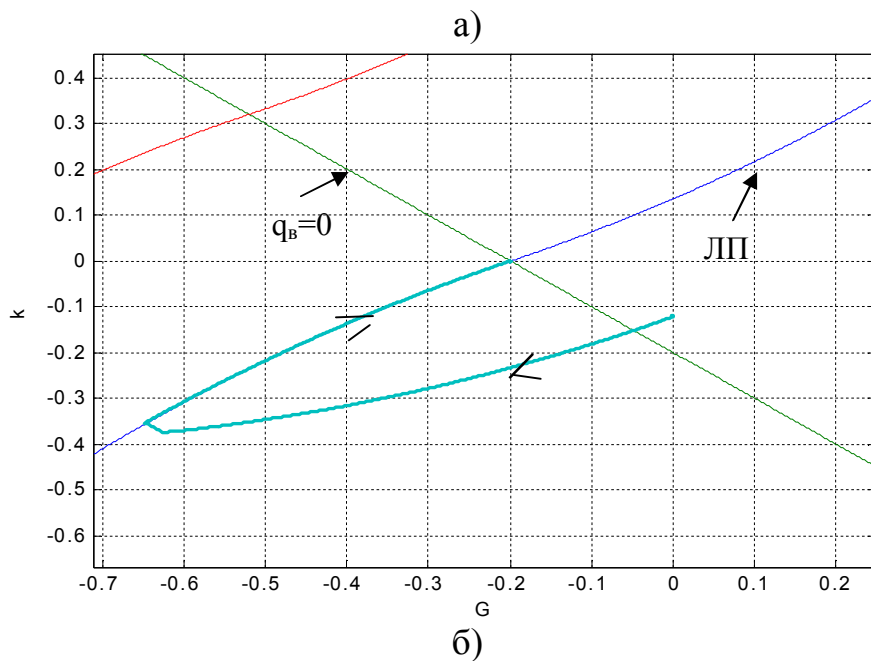
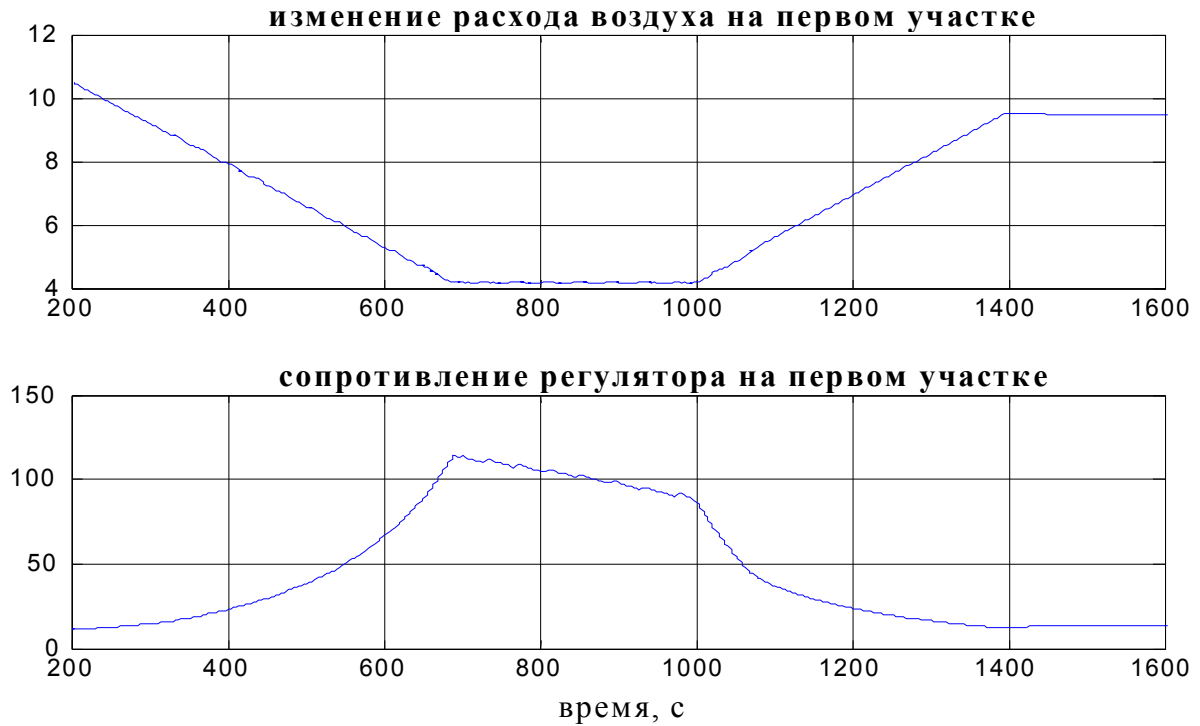
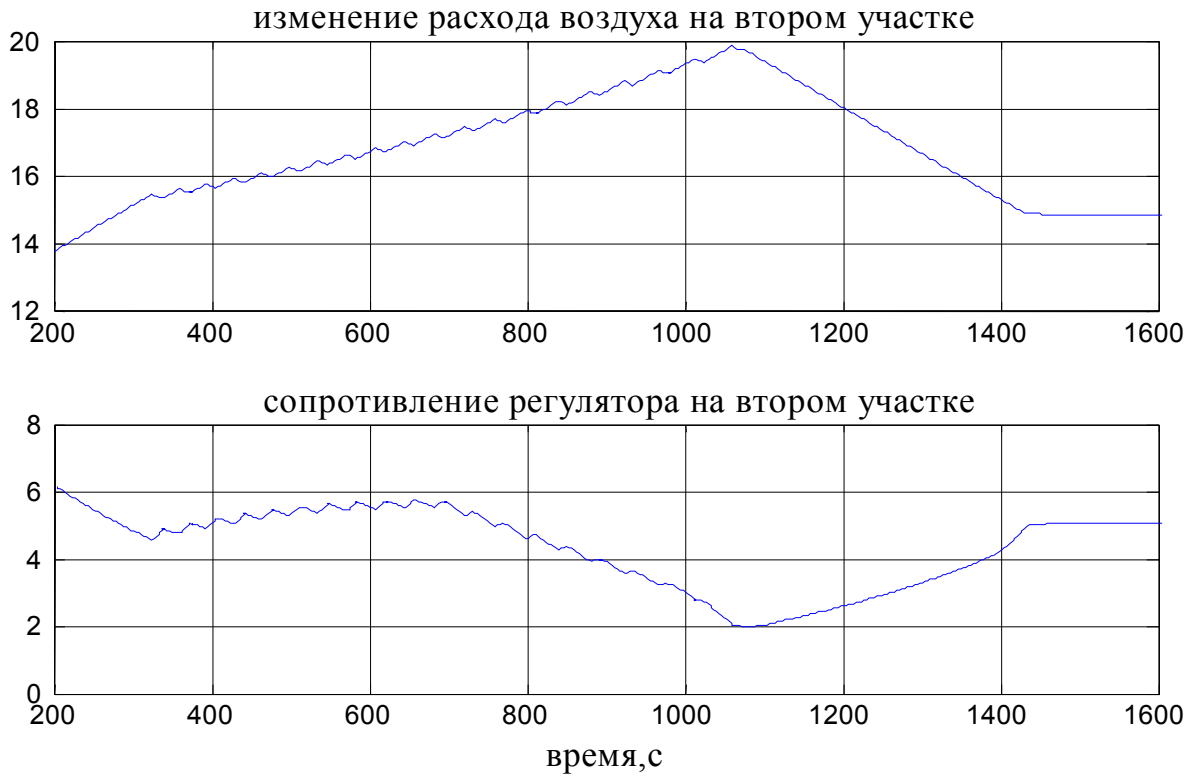
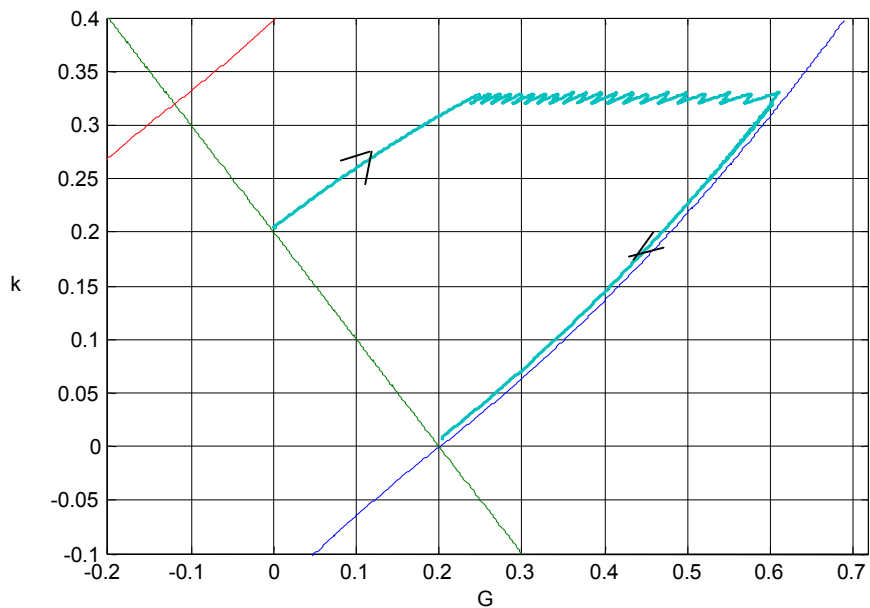


Рис. 4.44 Временные (а) и фазовые (б) траектории изменения расхода воздуха, сопротивления регулятора и концентрации метана на первом участке при одновременном управлении расходом воздуха на первом и втором участках ШВС



а)



б)

Рис. 4.45 Временные (а) и фазовые (б) траектории изменения расхода воздуха, сопротивления регулятора и концентрации метана на втором участке при одновременном управлении расходом воздуха на первом и втором участках

после 1280с расход воздуха фиксирован, хотя сопротивление регулятора в эти периоды времени уменьшается, что связано с необходимостью компенсации влияния второго участка, на котором в это время расход воздуха увеличивается. Компенсация возмущения по депрессии на первом участке в регуляторе осуществляется при этом соответствующим уменьшением сопротивления шибера. Во время испытаний были апробированы также другие режимы маневрирования расходом воздуха на участках, которые подтвердили работоспособность и достаточно высокое качество воспроизведения оптимальных процессов по газу на участках при наличии необходимых вентиляционных ресурсов в участковых РРВ.

Выводы

Методами фазовой плоскости разработан новый логический закон квазиоптимального по быстродействию дискретного управления проветриванием участков при отработке желаемого конечного состояния участка с ограничением концентрации метана на расчетном допустимом уровне, отличающийся тем, что блок формирования управляющих воздействий использует скользящие режимы. Показано, что при определенных нештатных режимах проветривания перевод участка в желаемое состояние неосуществим оптимальным образом без превышения концентрацией метана расчетного безопасного уровня. Методами математического моделирования аэрогазодинамических процессов при диспетчерском безопасном регулировании участков в управляемой модели шахтной вентиляционной сети и использовании разработанных средств программной поддержки процессов диспетчерского регулирования расходов воздуха подтверждена работоспособность разработанных алгоритмов и средств программной поддержки контура диспетчерского управления проветриванием газообильных выемочных участков в составе шахтной вентиляционной сети.

Список литературы

1. Завадская Т.В., Святный В.А. Модельная поддержка разработок систем управления вентиляцией шахт с учетом горно-технических условий // «Информатика и компьютерные технологии». Сборник трудов III международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 11-13 декабря 2007 года, г.Донецк, ДонНТУ-2007– С. 456.
2. Сухинин Б.В. Синтез оптимальных по быстродействию систем на основании использования теоремы об интервалах управления // Б.В. Сухинин, В.В. Сурков, А.Э. Соловьев // Вести высших учебных заведений Черноморья. - №2. – 2010.- С. 57 - 63.
3. Абрамов Ф.А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии / Абрамов Ф.А., Фельдман Л.П., Святный В.А. – К.: Наук. думка, 1981. – 284 с.

4. Расширение функциональных возможностей комплекса аэрогазового информационного – КАГИ/ [Ю.А.Иванов и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сборник трудов. – Макеевка, 2003. – С. 56-60.

5. Лапко В.В. Математическая модель и исследование переходных газодинамических процессов на выемочных участках шахт Донбасса / В.В. Лапко, О.Ю. Чередникова // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – №2. – С.115 – 121.

Надійшла до редколегії 05.09.2012

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

О. Ю. Чередникова

Донецький національний технічний університет, кафедра комп'ютерної інженерії

Розробка структури та алгоритмів контура автоматизованого керування провітрюванням видобувних діляниць. Розроблені алгоритми квазіоптимального за швидкістю управління видобувною ділянницею по газу з обмеженням концентрації метану на розрахунковому рівні і структура контуру диспетчерського керування вентиляцією підземних виробок на основі мікропроцесорної системи КАГІ. Процеси управління досліджені методами математичного моделювання на двох ділянках тестової шахтної вентиляційної мережі.

Ключові слова: концентрація метана, фазові траєкторії, алгоритм оптимального керування, контур диспетчерського керування

O. J. Cherednikova

Donetsk National Technical University

Development of the structure and algorithms of automated control circuit of ventilation of mining sites. Algorithms of speed-quasioptimal control for coal mine excavation areas with limiting of methane concentration at the current level are provided. The structure of the circuit of dispatch control of underground workings ventilation on the basis of microprocessor system KAGI is developed. Control processes are investigated using the methods of mathematical modeling in two parts of the tested mine ventilation network.

Keywords: concentration of methane, phase trajectory, algorithm of optimum control, circuit dispatch control