

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ ДОБЫЧНОГО УЧАСТКА ШАХТЫ

Мокрый Г. В., Сальман С. А.

Донецкий государственный технический университет, кафедра АСУ

E-mail: katea.pandora.Kite@dgtu.donetsk.ua

Abstract

Mokryj G.V., Salman S.A. Worked out system of automatic mining ventilation control is described, which is optimal on quickacting with changeable structure.

Система автоматического управления (САУ) воздухораспределением шахтной вентиляционной сети (ШВС) является многосвязной системой управления, в которой уровни управления диктуются технологическими условиями режимами проветривания как общешахтной вентиляционной сети, так и конкретными добычными участками.

Задача верхнего уровня управления заключается в расчете общешахтного расхода воздуха (РВ) с учетом текущей и прогнозной газовой обстановки на участках ШВС, определении экономичного по энергозатратам режима работы вентилятора главного проветривания и выдачи вектора оптимальных расходов $Q_{opt}(t)$, число компонент которого, в простейшем случае, равно числу управляемых участков.

Задача нижнего уровня это задача оперативного автоматического управления по ликвидации загазования и снижения простоя выемочных машин по газовому фактору. Это задача сводится к решению задачи оптимального по быстрдействию перевода участка в безопасный режим проветривания со стабилизацией в зоне предельно допустимых норм концентрации метана.

В многосвязных системах управления воздухораспределением в ШВС роль задающего устройства для всех участков играет управляющей ЭВМ, которая решает задачи экономичного по энергозатратам управления и выдачи оптимальных расходов $Q_{opt}(t)$ и оптимального по быстрдействию перевода в безопасный режим управления для i -го участка.

Для синтеза алгоритма управления необходимо иметь информацию о моделях объекта и регулирующем канале системе автоматического управления расходами воздуха, элементы которой находятся непосредственно на участке (рис.1).

Движение воздуха в регулируемой ветви добычного участка описывается уравнением:

$$KQ/dt + (R+R')Q^2(t) = H(t-\tau), \tag{1}$$

где $Q(t)$ - расход воздуха; K - коэффициент инерционность воздушного потока; H - депрессия; R - аэродинамическое сопротивление, с учетом утечек через выработанное пространство; R' - регулируемое сопротивление; τ - запаздывание по передаче воздуха от канала к концу участка.

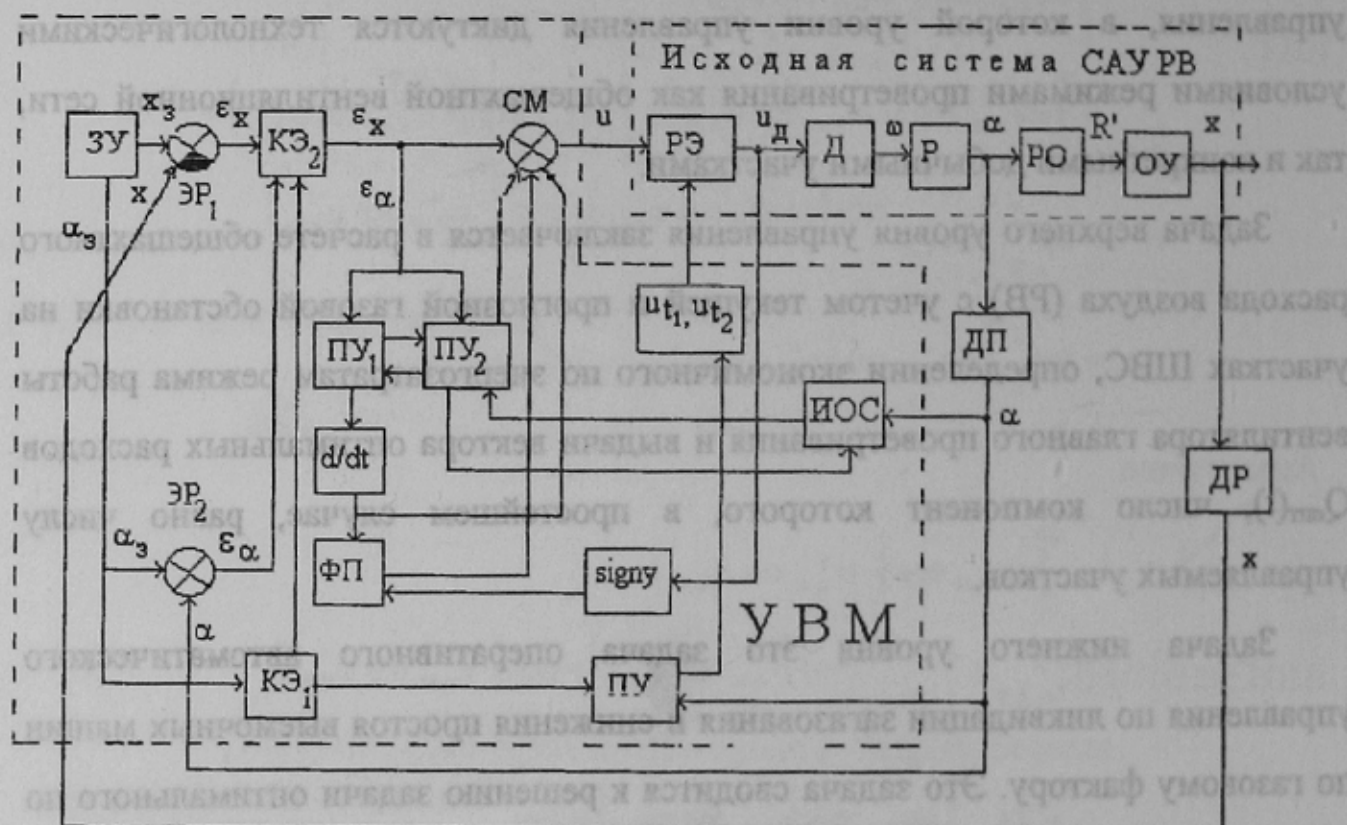


Рисунок 1 – Система оптимального по быстродействию с переменной структурой

Регулирующий канал, включающий приводной двигатель, редуктор и регулирующий орган (вентиляционная дверь, заслонка), описывается

уравнениями:

$$T_d d^2 \alpha / dt^2 + d \alpha / dt = K_p K_d u(t); \quad (2)$$

$$R' = R'(\alpha) = K_\alpha \alpha^2; \quad (3)$$

$$u(t) = f(\Delta Q), \quad (4)$$

где $\alpha(t)$ - положение регулирующего органа (РО); T_d , K_d , K_p - соответственно постоянная времени, коэффициент передачи двигателя и передаточное число редуктора; K_α - постоянный коэффициент; $u(t)$ - управляющее напряжение двигателя; $f(\Delta Q)$ - статическая характеристика управляющего элемента.

Элемент рассогласования:

$$\Delta Q = Q_{Ti} - Q_{di}(t), \quad (5)$$

где Q_{Ti} - заданный РВ, равный $Q_{omi}(t)$, формируемый верхним уровнем управления для i -го участка; $Q_{di}(t)$ - текущий РВ от датчика расхода.

Имеется канал измерения, включающий датчики положения РО и РВ. Как следует из выражений (1) - (5) модели объекта и регулирующего канала описываются нелинейными уравнениями. Для решения задачи синтеза САУ РВ и её практической реализации примем следующие допущения: ввиду малости инерционности исполнительного двигателя по сравнению с инерционностью и запаздыванием воздушного потока на участке постоянной T_d пренебрежем; регулирующий орган (вентиляционная дверь, заслонка) являются частью объекта, поэтому их коэффициенты передачи учтены в характеристике объекта, нелинейные характеристики РО и каналов движения потока линеаризованы; синтез системы проведем в линейной постановке [1, 2].

Следуя терминологии, принятой в теории автоматического управления, при постановке задачи синтеза САУ РВ введём обозначения:

$x = Q$ - выходная (регулируемая) величина расхода воздуха на участке;

$u = H$ - управляющее воздействие (перепад давления на входе, зависящий от положения регулирующего органа α и его гидравлического сопротивления R');

$\varepsilon_x = x_3 - x$ - рассогласование (ошибка регулирования) по расходу между заданным x_3 и действительным x значениями расхода;

$\varepsilon_\alpha = \alpha_3 - \alpha$ - рассогласование по положению регулирующего органа;

$f(\Delta Q) = f(\varepsilon_x)$ - статистическая характеристика релейного элемента РЭ.

Ввиду большой инерционности участковой ветви и наличия запаздывания τ в канале управления, предложена оптимальная система (САУ РВ) с переменной структурой и принцип её реализации. При больших отклонениях регулируемого параметра от заданного значения система работает по критерию оптимального быстрогодействия, по достижении параметром области, близкой к заданному значению, система переводится в линейный режим, что обеспечивает устранение автоколебательных режимов, обусловленных наличием запаздывания, в оптимальной релейной системе и заданную точность в линейном режиме.

Система реализована в двух вариантах: как разомкнутая, при регулировании расхода воздуха по положению регулирующего органа, для случая, когда имеются трудности непосредственного измерения расхода датчиками в шахтных условиях и, как замкнутая по расходу воздуха, когда трудностей измерения не имеется.

Задача синтеза релейной системы, оптимальной по быстродействию поставлена следующим образом.

Для линеаризованной системы с критерием управления

$$I_p(x, u) = \int_{t_0}^{t_n} \varphi(x, u) dt \rightarrow \min, \quad \varphi(x, u) = 1, \quad (6)$$

математической моделью (1) - (5), приведенной в форме

$$T dx_1/dt + x_1 = K_y u; \quad (7)$$

$$dx/dt = K_x x_1, \quad x = Q, \quad u = H,$$

и ограничениями $|u| = u_m$,

(8)

требуется перевести объект из состояния $x_0(t_0) = 0$ в состояние $x_n(t_n) = 0$ за минимальное время. Здесь u - управляющее воздействие (степень открытия

регулирующего органа, или включение участкового вентилятора на полную мощность), u_m - максимальное значение u .

Для случая программной (разомкнутой) САУ РВ моменты переключения максимального управляющего воздействия $|u| = u_m$ определены на базе принципа максимума [1]

$$t_1 = \frac{1}{\beta} \ln Y_i; \quad t_2 = 2t_1 - \frac{x_n}{Ku_m}, \quad (9)$$

где $Y_i (i=1,2)$ - допустимый корень, являющийся решением уравнения:

$$Y^2 - aY + b = 0, \quad (10)$$

где $a = 2 \exp bx_n / Ku_m$, $b = \exp bx_n / Ku_m$, $K = K_y K_d$ - коэффициент передачи системы,

β - корень характеристического уравнения (7).

Для случая замкнутой системы управления при измерении расхода воздуха датчиками, оптимальный закон управления получен в виде:

$$u(x,y) = x + Ty + TKu_m \operatorname{sign}(y \ln y - x_0 \operatorname{sign} y) - \operatorname{sign} y TKu_m \ln x_0, \quad (11)$$

где $y = dx/dt$, x_0 - начальное условие по расходу воздуха.

Синтез систем с ПИ- законом управления для линейного режима проведен по интегральному критерию

$$J_n(\varepsilon_m) = \int_0^{\infty} \varepsilon_m(t) dt \rightarrow \min, \quad (12)$$

при заданном затухании ψ переходного процесса ($\psi = 0.75$), где $\varepsilon_m(t) = x_s - x(t)$ - текущая ошибка регулирования, x_s - уставка по расходу воздуха.

Структура САУ РВ, базирующаяся на новом принципе управления, проведена на рис.1 (УВМ, обведена пунктиром). Кроме исходных элементов, расположенных непосредственно на участке (исходная система пунктир) САУ РВ с переменной структурой включает: контур разомкнутого (программного) управления, состоящий из задающего устройства ЗУ по положению регулирующего органа α_s , ключевой элемент КЭ₁ переключения системы с разомкнутого на замкнутое состояние, программное устройство ПУ для выработки моментов переключения релейного элемента РЭ с максимального u_m

управляющего воздействия на $-/u_m/$ с обратным законом, блок u_1, u_2 - задания моментов переключения РЭ, датчик (ДП) текущего положения регулирующего органа.

Замкнутая часть САУ РВ может быть реализована в двух вариантах: для регулирования расхода воздуха по показаниям датчика расхода воздуха x и по положению регулирующего органа α , однозначно связанного с расходом.

Оба варианта работают по одной и той же схеме. Замкнутая часть включает: задатчик ЗУ по расходу x_3 ; элемент рассогласования ЭР₁ действительного расхода x с заданным x_3 ; ключевой элемент КЭ₂ для переключения САУ РВ в замкнутое состояние элементом КЭ₁, подводящий ошибку рассогласования ε_x или ε_α к пороговым устройствам; пороговые устройства ПУ₁, ПУ₂, переключающие САУ РВ с режима оптимального по быстродействию в линейный режим с ПИ-законом по величине ошибки рассогласования $\varepsilon_x, \varepsilon_\alpha$; дифференцирующий блок d/dt , для получения значений $y = dx/dt$; функциональный преобразователь ФП и блок выявления знака производной ($y = dx/dt$) $sign y$, необходимые для формирования закона управления оптимального по быстродействию $u(y, \varepsilon_x)$.

Управление по положению РО производится с помощью этой же структуры с заменой лишь элемента рассогласования ЭР₁ на ЭР₂.

Структура линейного режима включает: элемент рассогласования ЭР₁ (ЭР₂), ключевой элемент КЭ₂, исполнительную часть исходной системы (РЭ, Д, Р), охваченную через датчик положения ДП и пороговое устройство ПУ₂ инерционной обратной связью ИОС, формирующей ПИ-закон.

Функционирование САУ РВ с переменной структурой осуществляется в следующем порядке.

С помощью ключевого элемента КЭ₁ выбора режима ε , воздействующего на КЭ₂ система переводится в замкнутое состояние, вследствие чего ошибка рассогласования ε_x подводится к релейному элементу (пускателю) РЭ. При большом отклонении ε_x срабатывает пороговое устройство ПУ₁, подводя

ошибку ε_x к блокам d/dt и ФП для формирования закона управления $u(\varepsilon_x, y)$ оптимального по быстродействию. Под действием $u(\varepsilon_x, y)$ релейной элемент подает на вход двигателя Д максимальное управление u_m , вследствие чего происходит "разгон" объекта (участка) с максимальной скоростью. По достижении максимальной скорости "разгона" объекта по закону управления, сформированному в ФП, производится переключение управления u_m на обратное $-|u_m|/(signy)$, вследствие чего начинается интенсивное торможение "разогнанного" объекта так, чтобы величина расхода $x(t_0)$ не "проскочила" заданное значение $x_n(t_n)$ в конечный момент t_n , чем достигается минимум времени перевода объекта из $x(t_0)$ в $x(t_n)$.

В работе [2] показано, что при наличии запаздывания в каналах управления в области малых отклонений в системах оптимальных по быстродействию наблюдаются автоколебательные режимы, крайне нежелательные для шахтных систем. С целью исключения автоколебаний в системе САУ РВ предусмотрен переход в линейный режим при малых значениях рассогласования ε_x , достигающих области автоколебательных режимов.

В линейном режиме САУ РВ функционирует следующим образом. По достижении ошибкой ε_x под действием закона оптимального быстродействия малых значений (области автоколебаний), срабатывает пороговое устройство ПУ₂, отключая ПУ₁ и систему формирования оптимального закона (d/dt , ФП, $signy$). Одновременно ПУ₁ подключает цепь инерционной обратной связи ИОС к датчику положения α РО и сумматору СМ на входе релейного элемента РЭ, чем и осуществляется формирование линейного ПИ-закона управления. При этом в неизменяемой (исходной части) системе ничего не изменится.

Работа САУ РВ по разомкнутому циклу аналогична работе программных систем по задающему воздействию α_s . Перевод систем из состояния $\alpha(t_0)$ в $\alpha(t_n)$ в соответствии с изменением задания α_s осуществляется путем выработки программным устройством ПУ моментов переключения t_1 и t_2 (u_1, u_2) по

времени в которые необходимо менять знак (signu) управляющего воздействия с u_m на $-/u_m/$. Основная задача здесь заключается в определении этих моментов.

Практическая реализация разработанной системы оптимального управления не вызывает затруднений. так САУ РВ на участке включает известные узлы: двигатель с исполнительным механизмом и пускатель, выполняющий функцию РЭ; алгоритмическая часть-формирование оптимального управления $u(x,y)$, моментов переключения t_1 и t_2 , по выражениям (9) - (11), и инерционной обратной связи ИОС, обеспечивающая линейный ПИ-закон управления по критерию (12) реализуется в управляющей ЭВМ. Причем, разработанная система обладает повышенной надежностью, сохраняя работоспособность при сбоях датчика РВ, обеспечивая регулирование расхода воздуха по положению регулирующего органа, однозначно связанного с расходом.

Литература

1. Павлов А. А. Синтез релейных систем оптимальных по быстродействию. М. : Наука, 1966. -392с.
2. Емельянов С. В. Системы автоматического управления с переменной структурой. М. : Наука, 1967.-336с.