

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ ШАХТЫ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Левикина Д.С., студ.; Неежмаков С.В., доц., к.т.н.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Современное горное предприятие немислимо без принудительной вентиляции. От надежной, безотказной работы системы проветривания полностью зависит безопасность, а зачастую и жизнь людей, работающих в шахте. В связи с необходимостью наличия в шахтных условиях надежного, необходимой мощности и управляемого источника движения воздуха, используется вентилятор.

Вентиляторной установкой называют комплекс оборудования, сооружений и устройств, обеспечивающих устойчивое и надежное снабжение шахты достаточным количеством воздуха при нормальной работе и в любой аварийной ситуации. Главной задачей системы вентиляции является поддержание состояния воздушной среды, пригодного для работы человека и оборудования.

В настоящее время экономичный режим работы вентилятора ограничивается к.п.д. не ниже 0,6, но лишь 40% вентиляторов отвечают этим требованиям [1]. Это обусловлено рядом особенностей эксплуатации вентилятора: продолжительным режимом работы, редкими, но тяжелыми для электропривода установки пусками, малыми пусковыми моментами и др. В горной отрасли на привод вентиляторов, обслуживающих шахту, уходит до 10% расходуемой электроэнергии. В связи с этим, создание высокоэкономичных вентиляторов и правильное их использование имеет большое экономическое значение.

Основное условие экономичной работы вентиляторной установки – соответствие подачи и депрессии, развиваемых вентилятором, требуемым и сведение до минимума времени работы вентилятора в режимах, характеризующихся подачей в шахту избыточного количества воздуха [3]. Поэтому необходимо регулировать режим работы вентилятора меняя депрессию и, соответственно, подачу вентиляторного агрегата.

Основной задачей исследований является разработка такой системы автоматического регулирования подачи центробежного вентилятора, которая будет работать в рациональном и экономичном режиме.

Структурная схема системы автоматического регулирования приведена на рисунке 1.

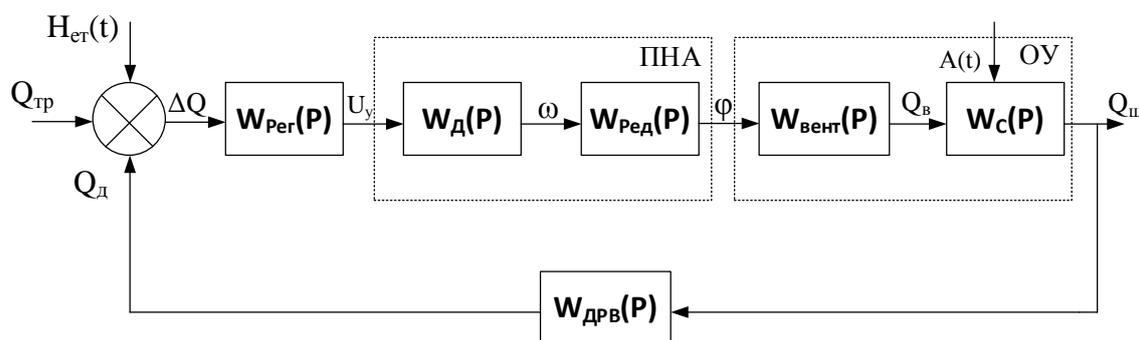


Рисунок 1 – Структурная схема САУ производительности вентилятора

На рисунке приняты следующие обозначения: ОУ – объект управления; $W_c(P)$ – вентиляционная сеть шахты; $W_{вент}(P)$ – вентилятор главного проветривания; $A(t)$ – эквивалентное отверстие сети, m^2 ; ПНА – привод направляющего аппарата; $W_d(P)$ – двигатель; $W_{ред}(P)$ – редуктор; $W_{рег}(P)$ – регулятор; $W_{дрв}(P)$ – датчик расхода воздуха; $Q_{ш}$ – количество воздуха, подаваемого в шахту, m^3/c ; $Q_в$ – производительность вентилятора, m^3/c ; $Q_{тр}$ – значение требуемой подачи воздуха, m^3/c ; $Q_д$ – количество воздуха, измеряемое

датчиком; ΔQ – сигнал рассогласования (ошибки); $H_{\text{ет}}(t)$ – естественная тяга вентиляционной сети; U_y – сигнал управления; ω – угловая скорость вала электродвигателя, рад/с; φ – угол поворота лопаток НА, град.

Объектом управления в данной САУ является «вентилятор - сеть» $W_{\text{вент}}(P) - W_c(P)$, который состоит из двух звеньев: вентиляционной сети шахты $W_c(P)$ и собственно вентилятора $W_{\text{вент}}(P)$. Выходной параметр объекта — количество воздуха, поступающее в шахту за счёт работы вентиляторной установки. Измерение количества воздуха, подаваемого в шахту, производится датчиком расхода воздуха $W_{\text{дрв}}(P)$. Возмущающее воздействие на объекте - это эквивалентное отверстие сети $A(t)$, которое изменяется во времени. Диапазон изменения эквивалентного отверстия сети может изменяться в пределах 0,3-4,2 м² [3]. Входное воздействие — угол установки лопаток направляющего аппарата φ – формируется в результате перемещения приводного кольца направляющего аппарата (НА).

Шахтная вентиляционная сеть представляется объектом с сосредоточенными параметрами, динамические процессы воздухораспределения в сети описываются системой обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений.

Передаточная функция вентиляционной сети $W_c(p)$ обычно определяется по переходной характеристике, измеряя расход воздуха в стволе шахты. Упрощенную передаточную функцию вентиляционной сети можно представить апериодическим звеном с запаздыванием:

$$W_c(p) = \frac{K_c e^{-p\tau}}{T_c p + 1}, \quad (1)$$

где K_c — коэффициент передачи сети, который представляет собой отношение действительного значения расхода воздуха в сети к требуемому. τ — время чистого запаздывания в канале управления и составляет около 10-15 мин (или 600-900с); T_c — постоянная времени сети выработок, которая может изменяться от 30 мин до 2 часов (или 1800-7200с) в зависимости от общей протяженности выработок шахты [1].

Передаточная функция вентилятора $W_{\text{вент}}(p)$ может быть представлена апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{вент}}(p) = \frac{K_B}{T_B p + 1}, \quad (2)$$

где K_B – коэффициент передачи (усиления) вентилятора, который определяется как отношение производительности вентилятора Q_B , м³/с к угловой скорости вращения вала вентилятора ω , об/с. Постоянная времени вентилятора T_B составляет 10-15с.

Привод направляющего аппарата – это электродвигатель и редуктор, соединённые упругой втулочно-пальцевой муфтой и установленные на общей раме [1]. На тихоходный вал редуктора насажена звёздочка для передачи крутящего момента с помощью роликовой цепи и жестких тяг к приводному кольцу НА. Двигатель как элемент САУ представляет собой апериодическое звено, передаточная функция которого:

$$W_D(p) = \frac{K_D}{(T_{эм} p + 1)}, \quad (3)$$

где K_D – передаточное число двигателя, равное отношению номинальной частоты вращения к питающему напряжению. $T_{эм}$ – постоянная времени, характеризующая время разгона двигателя.

Приводная звёздочка передаёт крутящий момент на приводное кольцо, посредством которого осуществляется одновременный поворот лопаток НА. Передаточная функция НА представлена безынерционным звеном и имеет вид:

$$W_{HA}(p) = K_{HA}, \quad (4)$$

где КНА – коэффициент передачи направляющего аппарата, равный отношению угла поворота лопаток к частоте вращения двигателя.

Для управления приводом НА используются пускатели бесконтактные реверсивные (например, типа ПБР-3А) [1]. Пускатель обеспечивает пуск, реверс и защиту трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором от перегрузки. Пускатель (реле) получает команды от управляющего устройства, которое представляет собой электронный блок, выполненный на базе микроконтроллера. На вход блока поступают сигналы с измерительных датчиков, сравниваются, формируется сигнал рассогласования фактической и требуемой подачи воздуха. Далее сигнал посредством регулятора преобразуется у управляющее воздействие, которое поступает на вход пускателя привода НА.

Датчик как элемент САУ представляет собой безынерционное звено. Передаточную функцию такого элемента можно представить в виде коэффициента усиления $K_{ДРВ}$, который равен отношению электрического сигнала на выходе датчика к текущему значению измеряемого расхода воздуха.

Также для формирования точного сигнала управления необходимо также учитывать влияние естественной тяги вентиляционной сети. Основной определяющий фактор естественной тяги воздуха — различная плотность воздуха — обусловлена главным образом разностью его температур в горных выработках. В связи с этим естественная тяга воздуха в значительной степени зависит от сезонных и суточных изменений температуры на поверхности (больше зимой и ночью, меньше летом и днём). Плотность воздуха в шахте зависит также и от его химического состава (например, при сульфурных выделениях и внезапных выбросах газа). Скоростное давление ветра может вызвать естественную тягу воздуха при вскрытии залежей полезных ископаемых штольнями. Величина депрессии естественной тяги воздуха в этом случае соответствует скоростному давлению ветра. Определенное влияние на естественную тягу воздуха оказывает капёж воды в стволах; в воздухоподающих — может способствовать поступлению воздуха в шахту за счёт эжектирующего и охлаждающего действия падающей воды, в воздуховыдающих — затрудняет его движение и может даже кратковременно опрокидывать вентиляционную струю. Однако в большинстве случаев это изменение незначительно и противоположно по характеру в зимний и летний периоды. Поэтому с незначительной погрешностью характеристика естественной тяги принимается постоянной, т.е. не зависящей от расхода воздуха [4].

Цифровая модель системы автоматического управления расходом воздуха представлена системой передаточных функций её звеньев:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_c(p) = \frac{K_c e^{-p\tau}}{T_c p + 1}; \\ W_{Вент}(p) = \frac{K_B}{T_B p + 1}; \\ W_{HA}(p) = K_{HA}; \\ W_D(p) = \frac{K_D}{(T_{эм} p + 1)}; \\ W_{ДРВ}(p) = K_{ДРВ} \end{array} \right. \quad (5)$$

Для замкнутой системы управления при измерении расхода воздуха датчиком, оптимальный закон управления представляется в виде:

$$u(x, y) = x + Ty + TKu_m \operatorname{sign} y \ln|y - x_0 \operatorname{sign} y| - \operatorname{sign} y TKu_m \ln x_0, \quad (6)$$

где $y = dx/dt$, x_0 – начальное условие по расходу воздуха; u – степень открытия регулирующего органа (лопаток НА), диапазон изменения значений u – $(0 \dots 90)^\circ$.

Для реализации закона управления применён ПИД-регулятор, настроенный на технический оптимум.

Математическое моделирование системы управления подачей вентилятора выполнено при помощи программы Simulink. Схема математической модели представлена на рис. 2.

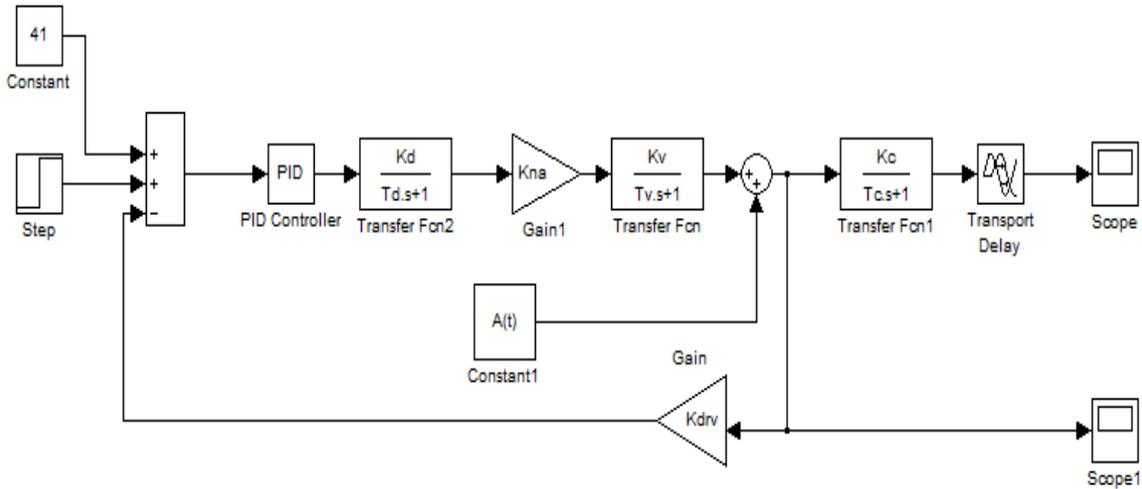


Рисунок 2 – Схема математической модели системы управления

Результаты моделирования представлены на рисунках 3 – график переходного процесса на выходе объекта – вентиляционной сети шахты, и 4 – график переходного процесса на выходе вентилятора.

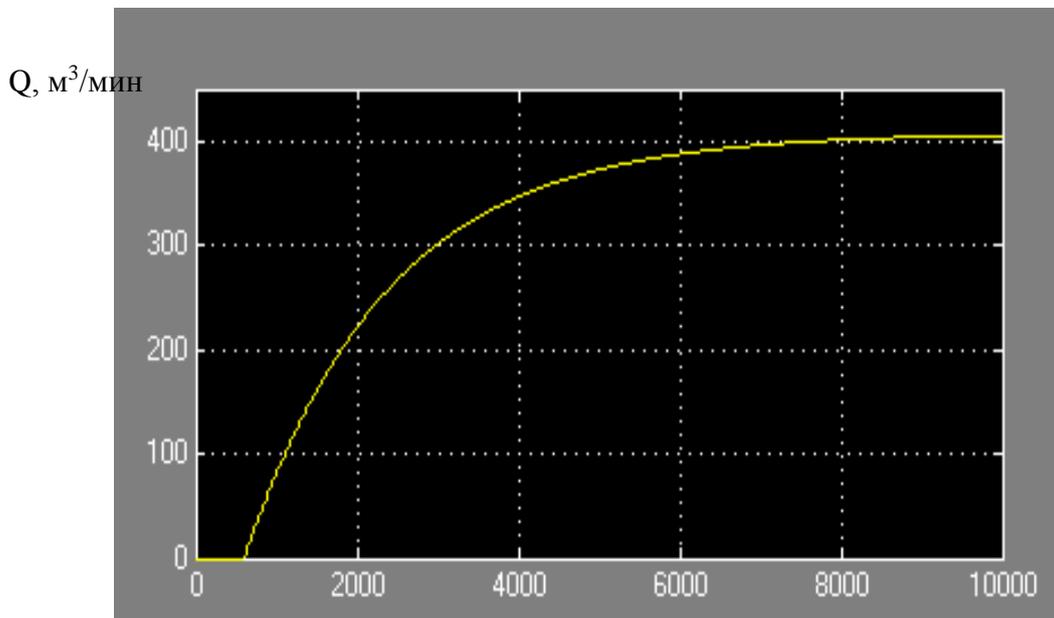


Рисунок 3 – График переходного процесса на выходе объекта – вентиляционной сети шахты

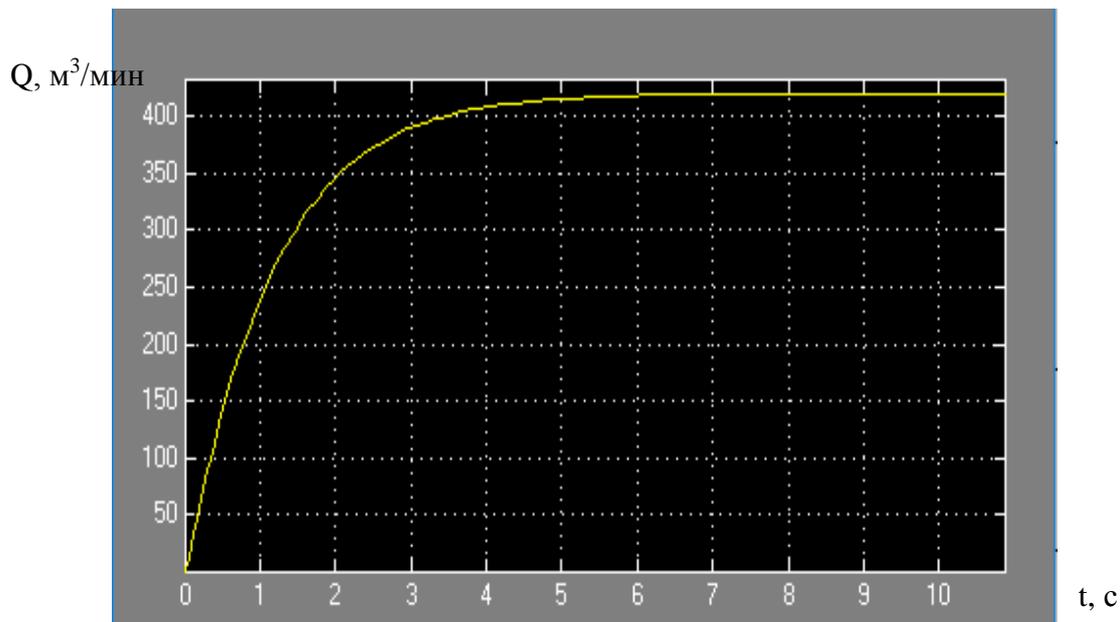


Рисунок 4 – График переходного процесса на выходе вентилятора

Из графиков видно, что после подачи на вход системы единичного ступенчатого воздействия система перейдет в установившееся значение в течении приблизительно, 2-х часов без перерегулирования. Вентиляторная установка перейдет в установившееся значение в течении 5с также без перерегулирования. Полученные показатели качества являются оптимальными для данной системы.

В настоящее время подобные системы автоматического регулирования подачи, как правило, отсутствуют. Это приводит к тому, что для компенсации колебаний количества подаваемого воздуха вентиляторные установки работают с повышенной производительностью, а, следовательно, с перерасходом электроэнергии; кроме того, непредвиденные нарушения вентиляционного режима приводят к сбоям в технологическом процессе добычи полезного ископаемого.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная система позволяет рационально использовать экономический ресурсы путем регулирования производительности вентилятора, повышая при этом его эффективность. Поэтому разработанная модель может быть использована при синтезе систем управления воздухораспределением в вентиляционных сетях угольных шахт.

Перечень ссылок

1. Ковалевская В.И., Спивак В.А., Фальков Б.С. Эксплуатация шахтных вентиляторов. – М.: Недра, 1983.
2. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания: /справочник/ Г.А. Бабак и др. – М.: Недра, 1982.
3. Руководство по ревизии и наладке главных вентиляторных установок шахт / А.С. Гофман и др. – М.: Недра, 1981.
4. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра, 1987.