

Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Глебов Р.С., аспирант

Туманов М.П., кандидат технических наук, доцент

(Московский государственный институт электроники и математики (технический университет))

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ С ДИНАМИЧЕСКИМ РАСХОДОМ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

В современных нормах и правилах проектирования и эксплуатации систем вентиляции особое внимание уделяется динамическому управлению расходом воздуха. Управление расходом воздуха позволяет повысить эффективность вентиляционной системы за счет экономии расходуемой на нагрев энергии. Проблемой синтеза подобных систем вентиляции является взаимосвязь контуров управления. В статье рассматривается адаптивная система управления, решающая данную задачу.

Ключевые слова: динамическое управление расходом воздуха, адаптивное управление, двухконтурное управление.

ADAPTIVE CONTROL OF VENTILATING INSTALLATION WITH A DYNAMIC CONSUMPTION OF STITCHED AIR

Modern norms and rules of design and operation of systems of ventilation give special attention to dynamic management of a consumption of air. Control of a consumption of air allows to increase efficiency of ventilating system at the expense of economy of energy spent for heating. A problem of synthesis similar systems of ventilation is the interrelation of contours of management. In article the adaptive control system solving this problem is considered.

Keywords: dynamic control of a consumption of air, adaptive management, double-circuit control.

Компенсация внешних возмущений в контуре управления температурным режимом вентиляционной установки осуществляется ПИД регулятором, однако при изменении расхода воздуха в системе возникает значительное перерегулирование, особенно в зимний период эксплуатации (рисунок 1).

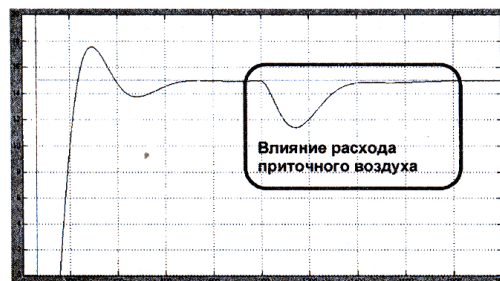


Рис. 1. Влияние изменения скорости двигателя на контур управления температурой

По графику на рисунке 1 видно, что всплеск, вызванный изменением расхода, соизмерим с перерегулированием системы. Обеспечение целей управления подразумевает исключение данного эффекта из переходной характеристики системы. В контур управления температурным режимом введем дополнительный блок, позволяющий подстраивать систему под изменение скорости вращения двигателя.

Из математической модели системы вентиляции, приведенной на рисунке 2 видно, что результирующая температура (X_1) является суммой сигнала управления ПИД регулятора ($X_{1.1}$) и помехи ($X_{1.2}$), вызванной изменением скорости вентилятора. Компенсировать помеху можно добавив к выходу ПИД регулятора сигнал, который после прохождения через W_T в сумме с помехой будет равен нулю, то есть скомпенсировал ее (рисунок 3). Вывод ос-

новывается на том, что преобразование Фурье является линейным оператором, то есть сумма сигналов прошедших через передаточную функцию W_T , равна сумме результатов прохождения каждого сигнала в отдельности.

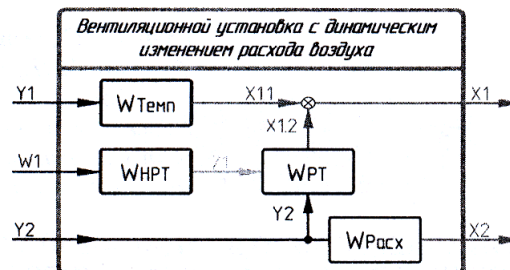


Рис. 2. Структура математической модели вентиляционной установки с технологией DCV.
 W_{Temp} – ПФ вентиляции по температуре воздуха,
 W_{Pacx} – ПФ вентиляции по расходу воздуха, W_{PT} – ПФ зависимости температуры воздуха от расхода,
 W_{HPT} – блок влияния уличной температуры.
 $Y1$ – управляющее воздействие на калорифер,
 $Y2$ – управляющее воздействие на двигатель,
 $W1$ – температура наружного воздуха,
 $X1$ – температура подаваемого воздуха, $X1.1$ – вклад калорифера в подаваемую температуру, $X1.2$ – вклад изменения расхода воздуха, $X2$ – расход воздуха.
 $Z1$ – влияние наружной температуры на W_{PT} .

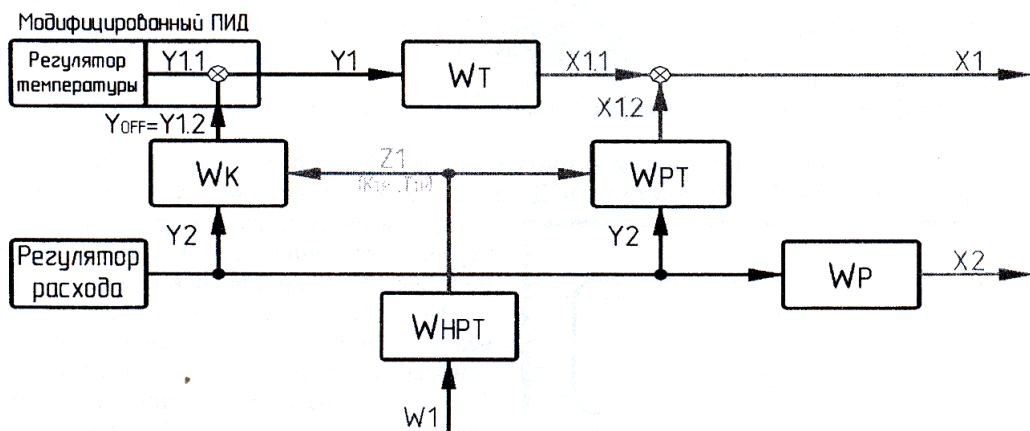


Рис. 3. Принцип работы компенсатора. $Y1$ – сигнал управления калорифером, $Y1.1$ – составляющая ПИД регулятора в сигнале управления калорифером, $Y1.2$ – составляющая корректора в сигнале управления калорифером, $Y2$ – сигнал расхода воздуха (скорости вращения вентилятора), $X1$ – температура воздуха, $X1.1$ – вклад калорифера в температуру воздуха, $X1.2$ – вклад изменения расхода (скорости вращения вентилятора) в температуру воздуха, $X2$ – концентрация углекислого газа в помещении, $W1$ – наружная температура, $Z1$ – влияние уличной температуры на параметры W_{PT} а также учет данного влияния корректором, W_T – передаточная функция вентиляционной установки по температуре воздуха, W_P – передаточная функция вентиляционной установки по расходу воздуха, W_{PT} – передаточная функция, описывающая влияние расхода воздуха на температуру, W_{HPT} – блок пересчета наружной температуры в параметры передаточной функции W_{PT} .

Задача компенсации влияния расхода воздуха (скорости вращения двигателя) на контур управления температурой сводится к структурному и параметрическому синтезу передаточной функции корректора (W_K). Сигнал коррекции $Y_{1.2}$ (с выхода W_K) добавляется к выходу ПИД регулятора, создавая смещение выхода регулятора – смещение $Y_{OFF}(p) = Y_{1.2}(p)$.

Запишем в явном виде условие для подавления помехи за счет сложения сигнала смещения с выходом регулятора (сумма помехи с результатом прохождения сигнала смещения через W_T должна равняться нулю):

$$W_T(p) \cdot Y_{OFF}(p) + X_{1.2}(p) = 0 \quad (\text{формула 1})$$

Сигнал помехи ($X_{1.2}$) является результатом прохождения сигнала скорости двигателя через передаточную функцию W_{PT} (рисунок 3):

$$X_{1.2}(p) = W_{PT}(p) \cdot Y_2(p) \quad (\text{формула 2})$$

Смещение (Y_{OFF}) представим как результат прохождения сигнала скорости вращения двигателя через искомую передаточную функцию корректора W_K :

$$Y_{OFF}(p) = W_K(p) \cdot Y_2(p) \quad (\text{формула 3})$$

В формулу 1 подставим сигнал помехи (формула 2) и сигнал смещения (формула 3), выраженный через искомую функцию и сигнал скорости вращения двигателя:

$$W_T(p) \cdot W_K(p) \cdot Y_2(p) + W_{PT}(p) \cdot Y_2(p) = 0 \quad (\text{формула 4})$$

Решением данного уравнения является передаточная функция компенсатора:

$$W_K(p) = -\frac{W_{PT}(p)}{W_T(p)} \quad (\text{формула 5})$$

Подставим вместо обозначений передаточных функций $W_{PT}(p)$ и $W_T(p)$ их реальные представления получим (инерционные звенья 2-ого порядка):

$$W_K(p) = -\frac{\frac{K_{PT}}{(T_{PT} \cdot p + 1)^2}}{\frac{K_T}{(T_T \cdot p + 1)^2}} = -\frac{K_{PT}}{K_T} \cdot \frac{(T_T \cdot p + 1)^2}{(T_{PT} \cdot p + 1)^2} = -\frac{K_{PT}}{K_T} \cdot \frac{T_T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_T \cdot p + 1}{T_{PT}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{PT} \cdot p + 1} \quad (\text{формула 6})$$

Современные системы управления вентиляционной установкой выполняются на базе цифровой техники, поэтому передаточную функцию компенсатора необходимо получить в виде конечно-разностного уравнения, где T_{KB} – время квантования непрерывных сигналов. Воспользуемся метод Тастина для перехода от непрерывной передаточной функции $W_K(p)$ к импульсной передаточной функции $W_K(z)$:

$$W_K(z) = -\frac{K_{PT}}{K_T} \cdot \frac{1 \cdot (4 \cdot T_T^2 + 2 \cdot T_T \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) + z^{-1} \cdot (-8 \cdot T_T^2 + 2 \cdot T_{KB}^2) + z^{-2} \cdot (4 \cdot T_T^2 - 2 \cdot T_T \cdot T_{KB} + T_{KB}^2)}{1 \cdot (4 \cdot T_{PT}^2 + 2 \cdot T_{PT} \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) + z^{-1} \cdot (-8 \cdot T_{PT}^2 + 2 \cdot T_{KB}^2) + z^{-2} \cdot (4 \cdot T_{PT}^2 - 2 \cdot T_{PT} \cdot T_{KB} + T_{KB}^2)} \quad (\text{формула 7})$$

Для удобства вычислений введем обозначение коэффициенты при степенях z для числителя и знаменателя:

$$\begin{aligned} a_0 &= (4 \cdot T_T^2 + 2 \cdot T_T \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) & b_0 &= (4 \cdot T_{PT}^2 + 2 \cdot T_{PT} \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) \\ a_1 &= (-8 \cdot T_T^2 + 2 \cdot T_{KB}^2) & b_1 &= (-8 \cdot T_{PT}^2 + 2 \cdot T_{KB}^2) \\ a_2 &= (4 \cdot T_T^2 - 2 \cdot T_T \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) & b_2 &= (4 \cdot T_{PT}^2 - 2 \cdot T_{PT} \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) \end{aligned} \quad \text{(формула 8)}$$

Импульсная передаточная функция корректора примет вид:

$$W_K(z) = -\frac{K_{PT}}{K_T} \cdot \frac{1 \cdot a_0 + z^{-1} \cdot a_1 + z^{-2} \cdot a_2}{1 \cdot b_0 + z^{-1} \cdot b_1 + z^{-2} \cdot b_2} \quad \text{(формула 9)}$$

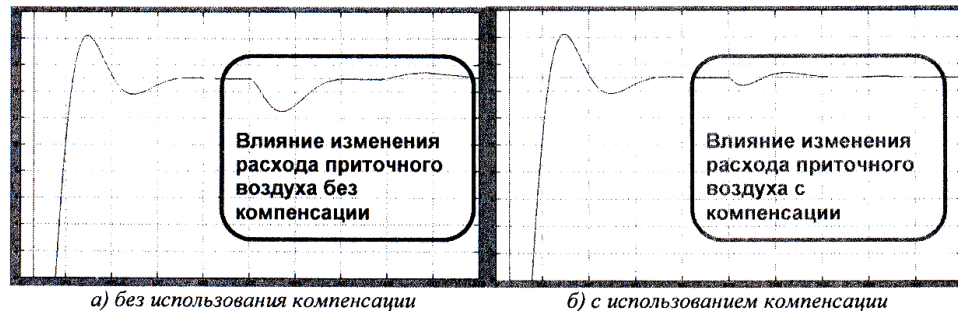
Конечно-разностное уравнение для функции компенсатора помех, вызванных изменением скорости вращения двигателя будет иметь следующий вид:

$$Y_{OFF}(z) = \frac{-\frac{K_{PT}}{K_T} \cdot (Y_2(k) \cdot a_0 + Y_2(k-1) \cdot a_1 + Y_2(k-2) \cdot a_2) - Y_{OFF}(k-1) \cdot b_1 - Y_{OFF}(k-2) \cdot b_2}{b_0} \quad \text{(формула 10)}$$

Поскольку параметры передаточной функции W_{PT} (K_{PT} и T_{PT}) зависят от наружной температуры, то для корректной компенсации помехи необходимо вычислять данные параметры на основании измерений наружной температуры. Следовательно коэффициенты компенсатора b_0 , b_1 , b_2 и K_{PT} будет зависеть от наружной температуры и в соответствие с моделью результирующие выражения для данных коэффициентов примут вид:

$$\begin{aligned} K_{PT} &= K_{PT}(T_{ya}) & b_1 &= (-8 \cdot T_{PT}^2(T_{ya}) + 2 \cdot T_{KB}^2) \\ b_0 &= (4 \cdot T_{PT}^2(T_{ya}) + 2 \cdot T_{PT}(T_{ya}) \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) & b_2 &= (4 \cdot T_{PT}^2(T_{ya}) - 2 \cdot T_{PT}(T_{ya}) \cdot T_{KB} + T_{KB}^2) \end{aligned} \quad \text{(формула 11)}$$

Разработанный алгоритм адаптивного управления был использована в системе управления вентиляционной установкой УМЦ «АРМО-ГРУПП», обслуживающей лекционный класс. Вентиляционная установка в режиме реального времени управляет температурой приточного воздуха и концентрацией углекислого газа в помещении. Нагрев приточного воздуха в системе вентиляции осуществляет электрическим калорифером (17 кВт), для управления расходом воздуха используется двигатель (0,3 кВт, 2100 об/мин) с частотно регулируемым приводом. Применение метода позволило уменьшить интеграл ошибки управления в 1,12 раза (на 12%) и обеспечить работу системы в 5% зоне от заданного значения, смотри таблицу 1 и рисунок 4.



а) без использования компенсации б) с использованием компенсации
Рис. 4. Переходной процесс в контуре управления температурным режимом. Параметры системы: уличная температура -20°C , уставка температуры $14,5^{\circ}\text{C}$. В момент времени 1000 с. происходит изменение уставки концентрации CO_2 с 550 до 500 ppm.

Перерегулирование в контуре управления температурным режимом, вызванное изменением работы вентилятора, со стандартным ПИД регулятором составляет 3,50 градуса (наружная температура -20°C градуса).

Таблица 1

Оценка результатов работы компенсатора при динамическом изменении скорости вращения вентилятора (по концентрации углекислого газа)

Критерий качества	без использования компенсатора	с использованием компенсатора
Установившееся значение ошибки	-0,04993	0,01529
Время последнего выхода за 5% зону от заданного значения	1289,00	573,20
Интеграл абсолютного значения ошибки	8485,34	7508,95

При дополнительном использовании метода компенсации, перерегулирование составляет 0,50 градуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев А.С., Лебедев А.Т., Семенов Н.П. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. – М.: Энергия, 1977. – 368 с.
2. Бондарь Е.С., Гордиенко А.С., Михайлов В.А., Нимич Г.В. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Под общ. ред. Е.С. Бондаря – К.: ТОВ «Видавничий будино «Аванпост-Прим» 2005. – 560 с.
3. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука 1981. – 447 с.