

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Турута А.Н., студент; Гавриленко Б.В., к.т.н., доц.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Прекращение проветривания приводит к остановке всего технологического комплекса шахты или рудника, к выводу людей на поверхность, прекращению работы всех машин и механизмов. От надежной, безотказной работы системы проветривания полностью зависит безопасность шахтного персонала.

В настоящее время одной из актуальных задач является повышение эффективности работы вентиляторных установок за счет разработки системы автоматического регулирования производительностью шахтных вентиляторов.

Анализ [1] показал, что производительность вентиляторной установки зависит от скорости вращения приводного двигателя, поворота закрылков лопаток рабочего колеса, поворота лопаток направляющего аппарата, применения поворотных заслонок, жалюзийных решеток, штор и задвижек.

Схема модели процесса проветривания в шахте представлена на рисунке 1.

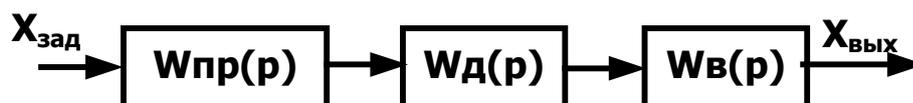


Рисунок 1 – Структурная схема модели общего процесса проветривания в шахте

где  $W_{пр}$  – передаточная функция тиристорного преобразователя частоты;  $W_{д}$  – передаточная функция двигателя;  $W_{в}$  – передаточная функция вентилятора.

Передаточная функция тиристорного преобразователя по управляющему воздействию имеет вид:

$$W_{тпч}(p) = k_{тпч} \frac{e^{-\tau p}}{T_y p + 1}, \quad (1)$$

где  $k_{тпч}$  – статический коэффициент усиления преобразователя;  $T_y = 0,006 \div 0,008$  – постоянная времени системы импульсно-фазового управления;

Передаточная функция вентильного преобразователя имеет вид аperiodического звена 1-ого порядка:

$$W_{тпч}(p) = \frac{k_{тпч}}{T_{тпч} p + 1}, \quad (2)$$

где  $T_{тпч} = T_y + 1/2mf$  – постоянная времени преобразователя. Для полупроводниковых СИФУ  $T_{тпч} \approx 0,01c$ [2]. Примем  $k_{тпч} = 1$

В качестве приводного двигателя для вентиляторной установки принимаем асинхронный двигатель типа ЭДКОФ53/4. Представим передаточную функцию асинхронного двигателя через электромагнитную и механическую.

Передаточная функция электромагнитной составляющей двигателя имеет вид:

$$W_{эдв}(p) = \frac{k_{дв}}{T_э p + 1} = \frac{2.54}{0.024 p + 1}, \quad (3)$$

где  $K_{дв}$  – коэффициент передачи двигателя,  $T_э = L_2''/R_2'$  – постоянная времени электромагнитной составляющей двигателя;  $L_2'' = L_2' - L_m^2/L_1$  – эквивалентная приведенная индуктивность обмотки ротора;  $L_2' = 0.022$  Гн – полная эквивалентная индуктивность фазы ротора;  $L_1 = 0.022$  Гн – полная эквивалентная индуктивность фазы статора;  $L_m = 0.0205$  – индуктивность главного полюса;  $R_2' = 0.0170$  Ом – приведенное активное сопротивление ротора.

Передаточная функция механической составляющей двигателя имеет вид:

$$W_{мдв}(p) = \frac{1}{T_m p + 1} = \frac{1}{0.07 p + 1}, \quad (4)$$

где  $T_m = J\Omega_0/M_{п.ф.}$  – механическая постоянная времени двигателя,  $J$  – момент инерции двигателя;  $\Omega_0$  – синхронная угловая скорость двигателя;  $M_{п.ф.} = \frac{2M_{кр}}{S_{кр}}$  – фиктивное значение пускового момента;  $M_{кр} = k * M_{ном}$  – критический момент двигателя;  $k=3.5$  – перегрузочная способность двигателя,  $M_{ном} = P_{ном} \frac{9550}{n_2}$  – номинальный момент двигателя;  $P_{ном} = 110$  кВт – номинальная мощность двигателя;  $n_2 = 1771$  об/мин – частота вращения ротора;  $S_{кр} = S_{ном} \cdot (k + \sqrt{k^2 - 1})$  – критическое скольжение двигателя;  $S_{ном} = 0.016$  – номинальное скольжение двигателя.

Передаточная функция вентиляторной установки имеет вид:

$$W_{вы}(p) = \frac{k}{T_1 p + 1} \quad (5)$$

где  $k=30$ .

Постоянная времени вентилятора типа установка ВЦД-32:

$$T_1 = \frac{L_a l}{R Q_b + R_b} = 4 \quad (6)$$

где  $L_a = 2461,12$  нс<sup>2</sup>/м<sup>5</sup> – акустическая масса участка выработки;  $l = 500$  м – длина участка выработки;  $R = 56,4 * 10^3$  нс<sup>2</sup>/м<sup>8</sup> – аэродинамическое сопротивление сети;  $Q_b = 5,1$  м<sup>3</sup>/с – производительность вентилятора;  $R_b = 56,4 * 10^3$  нс<sup>2</sup>/м<sup>5</sup> – внутреннее сопротивление вентилятора.

Передаточная функция вентилятора в числовом выражении имеет вид:

$$W_{вы}(p) = \frac{30}{4p + 1} \quad (7)$$

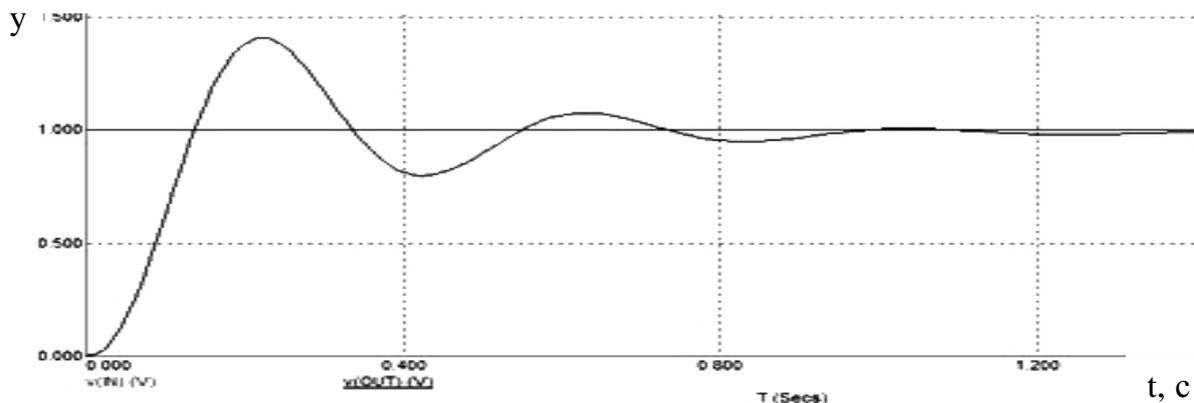


Рисунок 2 – Переходный процесс общего процесса проветривания в шахте в пакете программы Micro-CAP

График переходного процесса общего процесса проветривания в шахте

представлен на рисунке 2.

Анализ рисунка 2 показал, что величина перерегулирования составляет 42,3%, время переходного процесса –  $t_p=0,947c$ ; время нарастания –  $t_H=0,13c$ .

На рисунке 3 представлена структурная схема модели системы автоматического регулирования (САР) производительностью вентиляторной установки.

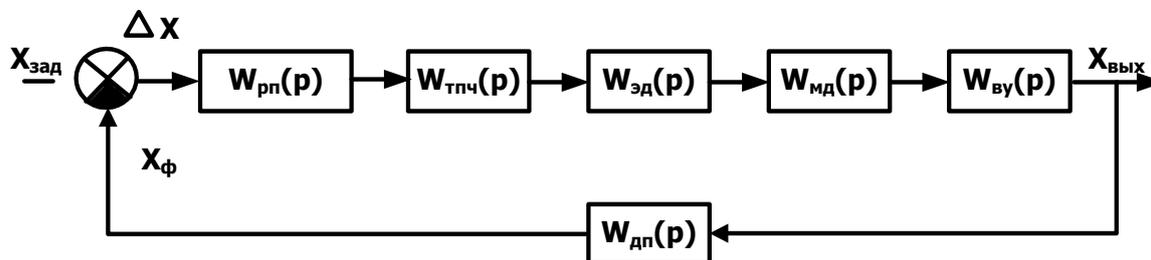


Рисунок 3 – Структурная схема САР производительностью вентиляторной установки

На рисунке 3 приняты следующие обозначения: где  $W_{рп}(p)$  - передаточная функция регулятора производительности вентилятора;  $W_{дп}(p)$  - передаточная функция датчика производительности,  $W_{эд}(p)$  и  $W_{мд}(p)$  - передаточные функции соответственно электромагнитной и механической составляющих двигателя;  $W_{вы}(p)$  - передаточная функция вентиляторной установки;  $W_{тпч}(p)$  - передаточная функция тиристорного преобразователя частоты.

САР вентиляторной установки работает следующим образом: напряжение  $U_{ф}$ , соответствующее фактической производительности вентилятора сравнивается с уставкой  $U_z$ , и разность этих напряжений является заданием для регулятора. Затем регулятор вырабатывает сигнал управления и через тиристорный преобразователь частоты воздействует на двигатель. Таким образом, применение регулятора позволит оптимизировать режимы работы вентилятора.

Передаточная функция И-регулятора:

$$W_{И}(p) = \frac{1}{T_H p} = \frac{1}{(2T_{\mu} K_{об}) p} = \frac{1}{2 \cdot 4,104 \cdot 76,2 p} = \frac{1}{625,45 p} \quad (8)$$

где  $T_{\mu} = \sum_{i=1} T_i = 0.01 + 0.024 + 0.007 + 4 = 4,104c$ ; (9)

$K_{об} = 2,54 \cdot 30 = 76,2$  – передаточный коэффициент автоматизируемой системы.

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_{ПИ}(p) = \frac{K_{П}(T_{И} p + 1)}{T_{И} p} = \frac{0,25(4p + 1)}{4p} = \frac{0,0625(4p + 1)}{p} \quad (10)$$

где  $T_{И} = T_1 = 4c$  – наибольшая постоянная времени системы;

$$K_{П} = \frac{T_1}{2K_{об} \cdot \sum_{i=2} T_i} = \frac{4}{2 \cdot 76,2 \cdot (0,01 + 0,024 + 0,07)} = 0.25 \quad (11)$$

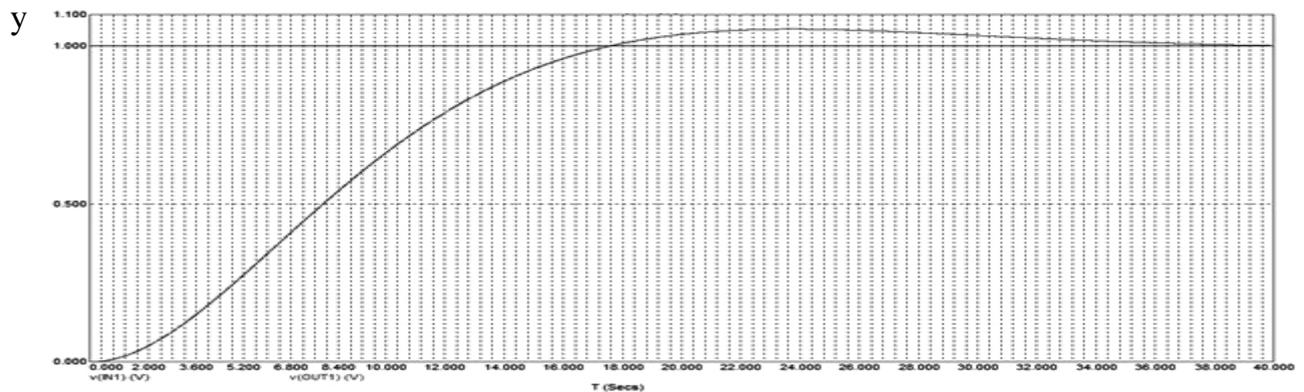
Передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W_{ПИД}(p) = \frac{K_{II}(T_{II}p + 1)(T_D p + 1)}{T_{II}p} = \frac{0,772(4p + 1)(0,07p + 1)}{4p} \quad (12)$$

где  $T_{II} = T_1 = 4$  с – наибольшая постоянная времени системы;  $T_D = T_2 = 0,07$  с – постоянная времени следующая по величине после  $T_{II}$ ;

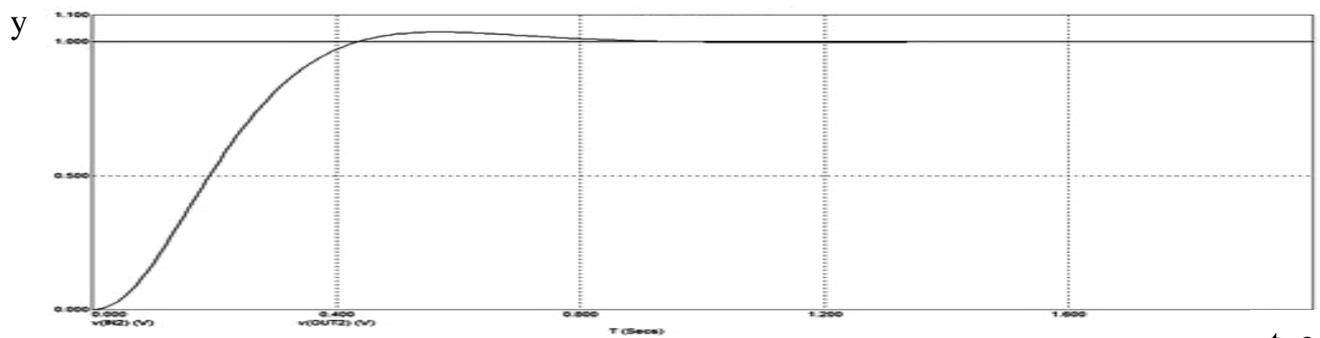
$$K_{II} = \frac{T_1}{2K_{OB} \cdot \sum_{i=3} T_i} = \frac{4}{2 \cdot 76,2 \cdot (0,01 + 0,024)} = 0,772 \quad (13)$$

Результаты моделирования САР вентиляторной установки в пакете программы Micro-SAR представлены на рисунках 4,5,6 соответственно.



t. с

Рисунок 4 – Переходный процесс САР вентиляторной установки с применением И-регулятора



t. с

Рисунок 5 - Переходный процесс САР вентиляторной установки с применением ПИ-регулятора.

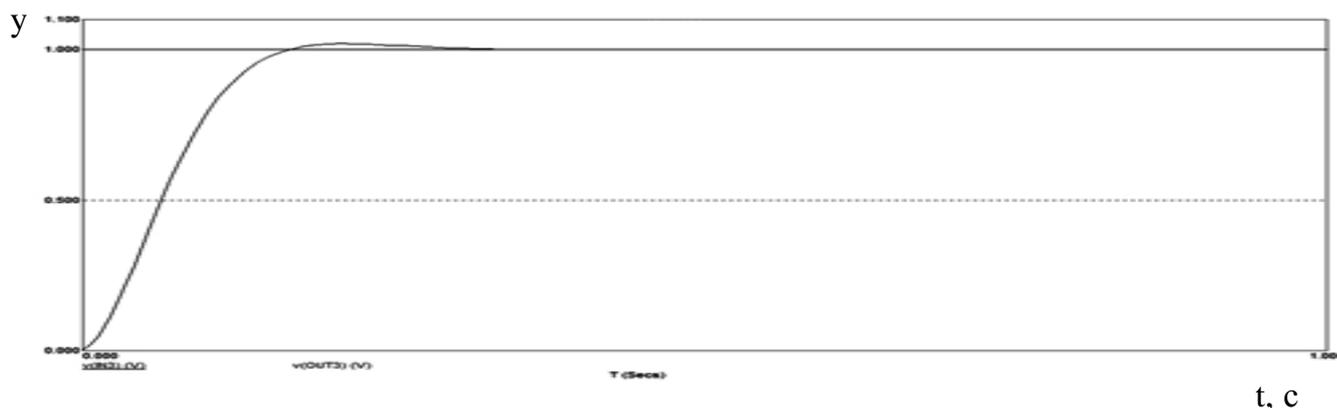


Рисунок 6 - Переходный процесс САР вентиляторной установки с применением ПИД-регулятора.

В таблице 1 показан сравнительный анализ динамических характеристик САР вентиляторной установки с применением различного вида регуляторов.

Таблица 1 - Сравнительный анализ динамических характеристик САР вентиляторной установки

	И - регулятор	ПИ - регулятор	ПИД - регулятор
Величина перерегулирования $\sigma$ , %	5,5	3,9	2
Время переходного процесса $t_p$ , с	34,1	0,704	0,268
Время нарастания $t_H$ , с	16,4	0,383	0,12

Анализ динамических характеристик доказывает, что наилучшие показатели переходного процесса достигаются с применением ПИД-регулятора, так как время переходного процесса  $t_H = 0,947c$  в нерегулируемой системе уменьшается до величины  $t_H = 0,268 c$ , а перерегулирование с  $\sigma = 42,3\%$  – до величины  $\sigma = 2\%$ .

Таким образом, применение ПИД-регулятора в САР процесса проветривания в шахте обеспечивает эффективное регулирование производительностью вентиляторной установки главного проветривания при отклонении режимов работы от нормального режима, а также гарантирует стабилизацию режимов работы вентилятора, предотвращает перебои в проветривании, обеспечивает нормальные и безопасные условия труда.

Перечень ссылок

1. Батицкий В.А., Куроедов В.И., Рыжков А.А. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности: Учебник для техникумов.-2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991.-303 с.
2. Автоматизация процессов подземных горных работ / Под ред. проф. А.А.Иванова. – К.; Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1987. – 328 с.
3. Гаврилов П.Д., Гимельшейн Л.Я., Медведев А.Е. Автоматизация производственных процессов. - М.: Недра, 1985.-215 с.
4. Груба В.И, Никулин Э.К., Оголобченко А.С. – Технические средства автоматизации в горной промышленности – К.: ИСМО, 1998. – 373 с.
5. Толпежников Л.И., «Автоматическое управление процессами шахт и рудников». Учебник для вузов., 2-е изд., перераб. и доп., М: Недра, 1985. – 352 с.