

**Орлов А.И.**

Одесский национальный политехнический университет

## ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ВОЗДУХА С РАЗРАБОТКОЙ УЧЕБНОГО СТЕНДА

В статье разработан проект автоматической системы регулирования расхода воздуха путем изменения производительности нагнетающего вентилятора, математическую модель частотного регулирования учебного стенда. Техническая реализация основана на использовании микропроцессорного комплекса VIPA Micro PLC.

**Ключевые слова:** асп, расход воздуха, частотное регулирование, математическая модель, учебный стенд.

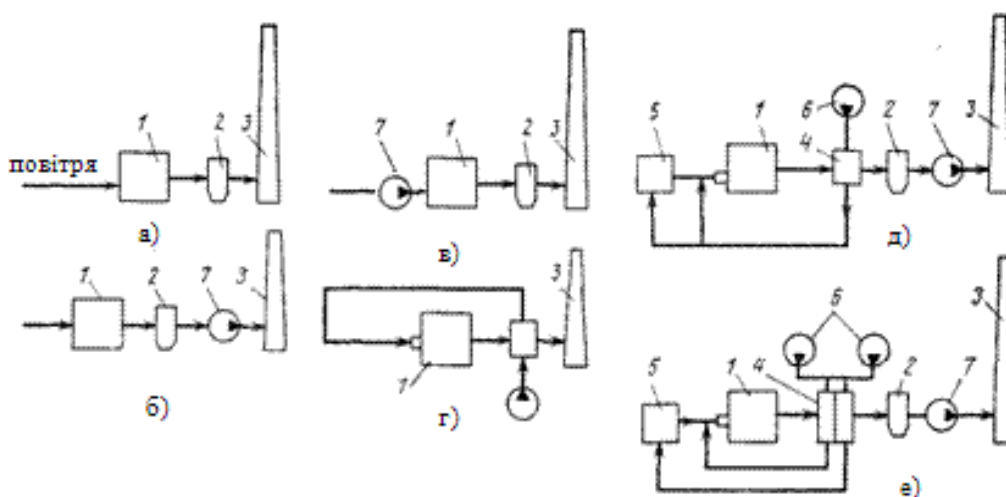
**Постановка проблеми.** Нормальна робота котла можлива лише за умови безперервної подачі повітря і видалення в атмосферу продуктів згорання після їх охолодження та очищення від твердих частинок.

В системі з природною тягою подача повітря відбувається за рахунок використання інжекційного пальника, а видалення продуктів згорання проходить за рахунок тяги димової труби.

Весь газохід знаходиться під розрідженням. Ця система застосовується в котлах малої потужності при малих опорах руху потоків повітря і продуктів згорання. В системі, представленій на рис. 1, б, опори повітряного і газового трактив долаються за рахунок розрідження, створюваного димососом

і трубою. Така система застосовується в котлах малої потужності, що працюють на газі і мазуті і не мають повітропідігрівників.

В системі, представленій на рис. 1, в і г газоходи знаходяться під надлишковим тиском – котли працюють “під наддувом”. На рис. 1 д подача повітря в топку здійснюється вентилятором, а продукти згорання видаляються димососом. В цьому випадку повітряний тракт знаходиться під тиском, а газовий тракт під розрідженням. За наявності різних опорів руху в системі паралельних потоків повітря використовується подача його в кожний потік індивідуальним вентилятором, що зменшує загальну витрату електроенергії на їх привід (рис. 1, е).



**Рис. 1.** Схеми газоповітряного тракту котлів: а – система з природною тягою; б – система з димососом; в – система з дуттєвим вентилятором; г – система з подачею вентилятором підігрітого повітря; д – система з вентилятором і димососом; е – система з роздільною подачею повітря на пилоприготування та на котел і димососом; 1 – котел; 2 – золовловлювач; 3 – димова труба; 4 – повітропідігрівник; 5 – система пилоприготування; 6 – вентилятор; 7 – димосос

Вентилятор і димосос повинні надійно забезпечувати подачу необхідного для горіння палива повітря в топку і видалення продуктів його згорання з котла при всіх режимах його роботи, підтримуючи задане постійне розрідження або тиск в топці. При цьому на привід вентилятора і димососа повинно витрачатися мінімально можлива кількість електроенергії.

Основними параметрами, що визначають вибір вентилятора і димососа, є необхідна їх подача і тиск при номінальному навантаженні котла.

Необхідна подача вентилятора, м<sup>3</sup>/год, визначається за формулою

$$Q_v = \beta_1 \cdot V_p \cdot V_0 \cdot (\alpha_t - \Delta\alpha_t + \Delta\alpha_{повп}) \cdot 273 t_{хп} + 273 \cdot P \cdot 61,01 \cdot 105,$$

а подача димососа, м<sup>3</sup>/год за формулою

$$Q_d = \beta_1 \cdot V_p \cdot V_r \cdot 273 t_{вг} + 273 \cdot P \cdot 60 \cdot 3600,$$

де  $V_p$  – розрахункова витрата палива, кг/с або м<sup>3</sup>/с;

$V_0, V_r$  – теоретичний об'єм повітря і дійсний об'єм газів, м<sup>3</sup>/кг або м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$\alpha_t, \alpha_{в}, \Delta\alpha_{повп}, \Delta\alpha_{пл}$  – коефіцієнт надлишку повітря в топці, витікання в повітропроводах, повітропідігрівнику, врахування подачі повітря з системи паливо підготовки;

$t_{хп}, t_{вг}$  – температури холодного повітря і відхідних газів, °С;

$\beta_1$  – коефіцієнт запасу, який приймають  $\beta_1 = 1,05$ ;

$\rho_{пл}$  – частка повітря, що ре циркулює.

Необхідний повний тиск вентилятора або димососа – перепад повного тиску у вхідному і вихідному їх патрубках, Па,

$$P = \beta_2 \cdot \Delta p_p,$$

де  $\Delta p_p$  – розрахунковий напір по повітряному чи газовому тракту, Па;

$\beta_2$  – коефіцієнт запасу по тиску, що приймається рівним 1,1.

Потужність на валу вентилятора або димососа, кВт,

$$N = Q \cdot P \cdot 3600 \cdot \eta_n \cdot 10^{-3},$$

де  $\eta_n$  – КПД нагнітача (вентилятора або димососа), для сучасних машин  $\eta_n = 0,7 \dots 0,75$ ;

$Q$  – подача вентилятора або димососа, м<sup>3</sup>/год.

Заводами-виробниками характеристика вентилятора і димососа [1, с. 174–175], тобто зв'язок між подачею і повним тиском, дається для повітря при температурі 20°С і тиску 102–103 Па (760 мм. рт. ст.), тому при виборі машини подачу і тиск необхідно привести до заводських умов.

В процесі роботи котла виникає необхідність регулювання подачі вентилятора і димососа в

залежності від навантаження котла з метою забезпечення заданого коефіцієнта надлишку повітря. Характеристики роботи відцентрового вентилятора залежно від способу регулювання показані на рис. 2.

При зміні частоти обертання характеристика машини змінюється за такими співвідношеннями

$$Q_2 = Q_1 n_1 n_2; \quad p_2 = p_1 (n_1 n_2)^2; \quad N_2 = N_1 (n_1 n_2)^3,$$

де  $n_1, n_2$  – частота обертання в різних режимах.

При регулюванні напрямним апаратом зміна характеристики машини супроводжується додатковими втратами в ній і зниженням її КПД. Зниження КПД залежить від конструкції машини і направляючого апарату, глибини регулювання і положення направляючих лопаток при даному режимі. Проте завдяки простоті конструкції направляючого апарату і нескладності його обслуговування при відносно високій економічності такий спосіб регулювання є найбільш розповсюдженим.

Потужність на валу машини при неномінальному режимі визначається за формулою

$$N = Q \cdot p \cdot 3600 \cdot \eta_n \cdot \eta_{пер} \cdot 10^{-3}$$

де  $\eta_{пер}$  – ККД регулювання, який залежить від глибини регулювання, конструкції апарату тощо.

**Постановка завдання.** Розробка автоматизованої системи регулювання витрати повітря шляхом зміни продуктивності нагнітаючого вентилятора.

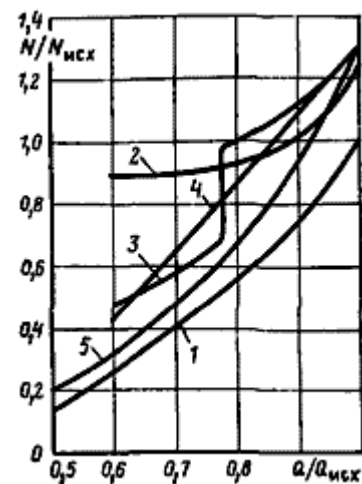


Рис. 2. Характеристика ефективності систем регулювання: 1 – корисна потужність, затрачувана на транспорт повітря і газу; 2 – регулювання напрямляючим апаратом; 3 – регулювання на-правляючим апаратом при двошвидкісному електродвигуні; 4 – регулювання гідромуфтою; 5 – регулювання при колекторному електродвигуні з фазовим ротором

У результаті розробки була одержана автоматизована система регулювання витрати повітря. Використані сучасні засоби автоматизації, а саме контролер VIPA MICRO PLC, розроблений інтерфейс для дистанційного керування процесом. Розроблена асп змонтована у вигляді навчального стенду.

Вибір даної системи призведе до підвищення продуктивності надійності та якості, та полегшення обслуговування.

Викладення основного матеріалу дослідження.

Для регулювання витрати повітря шляхом зміни продуктивності нагнітаючого вентилятора використовується параметрична схема:

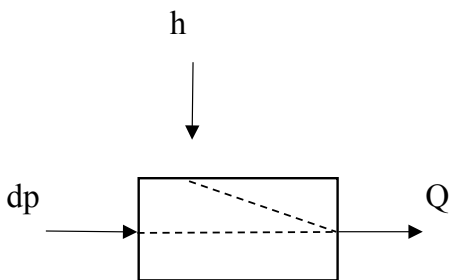


Рис. 3. Параметрична схема об'єкта регулювання

У енергетичних установках часто виникає необхідність регулювати витрату або тиск в системі, по якій протікає газ або пара. Структурна схема ділянки в цьому випадку відрізняється лише тим, що замість насоса встановлюється машина стиснення (компресор, вентилятор, димосос) або розширення (турбіна).

Варіанти схем регулювання витрати (тиску) аналогічні випадку нестискаємої рідини.

На рис. 4 показаний випадок, коли задача регулювання вирішується за допомогою машини, в якій відбувається розширення пари (парова машина або парова турбіна).

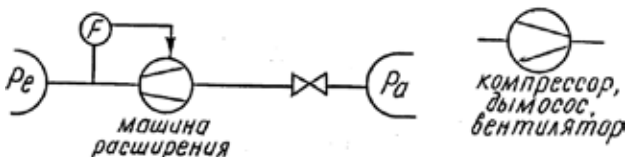


Рис. 4. Схема регулювання витрати (тиску) стискаємої середовища

На вході та виході регульованої системи можна примусово, за допомогою зовнішніх засобів підтримувати (наприклад, постійним) тиск або витрату. Можливі при цьому модифікації схем різні.

Математична модель стенду. В нашому випадку на прикладі стенду ми маємо таку схему:

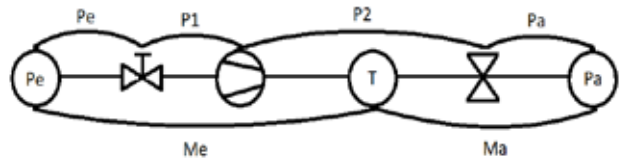


Рис. 5. Схема регулювання витрати повітря стенду

Виходячи з цього, можна записати наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \Delta P = b_v * \Delta A_v - a_v * \Delta M_e; & \Delta P_e = 0; \\ \Delta P_1 - \Delta P_2 = -a_p * \Delta M_e + b_p * \Delta n \\ \Delta P_2 - \Delta P_a = a_L * \Delta M_a; \Delta P_a = 0; \Delta P_2 = a_L * \Delta M_a; \\ \Delta M_e - \Delta M_a = T_n \frac{\bar{M}}{P_2} \Delta \dot{P}_2 \end{cases}$$

З системи рівнянь отримуємо диференціальне рівняння першого порядку:

$$\begin{aligned} & \frac{(a_p - a_L)}{a_p - a_L - a_v} a_L T_n \frac{\bar{M}}{P_2} \Delta \dot{M}_a + \Delta M_a = \\ & = \frac{b_p}{a_p - a_L - a_v} \Delta n - \frac{b_v}{a_p - a_L - a_v} \Delta A_v \end{aligned}$$

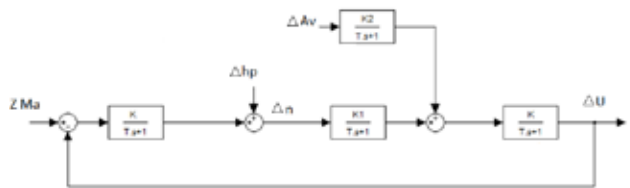


Рис. 6. Структурна схема АСР

Автоматичні регулятори класифікуються за призначенням, принципом дії, конструктивним особливостям, виду використовуваної енергії, характеру зміни регулюючого впливу і т.п.

За принципом дії вони поділяються на регулятори прямої і непрямої дії. Регулятори прямої дії не використовують зовнішню енергію для процесів управління, а використовують енергію самого об'єкта управління (регульованої середовища).

В автоматичних регуляторах непрямої дії для його роботи потрібне зовнішнє джерело енергії. За родом дії регулятори поділяються на безперервні та дискретні. Дискретні регулятори, в свою чергу, поділяються на релейні, цифрові і імпульсні.

По виду використовуваної енергії вони поділяються на електричні (електронні), пневматичні, гідравлічні, механічні та комбіновані.

Вибір регулятора по виду використовуваної енергії визначається характером об'єкта регулювання і особливостями автоматичної системи.

Згідно із законом регулювання вони поділяються на дво- і трипозиційні регулятори, типові регулятори (інтегральні, пропорційні, пропорційно-диференціальні, пропорційно-інтегральні, і пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори – скорочено І, П, ПД, ПІ і ПІД – регулятори), регулятори зі змінною структурою, адаптивні (які самостійно) і оптимальні регулятори. Двопозиційні регулятори знайшли широке поширення, завдяки своїй простоті і малій вартості.

За призначенням регулятори поділяються на спеціалізовані (наприклад, регулятори рівня, тиску, температури і т.д.) і універсальні з нормованими вхідними і вихідними сигналами і придатні для управління різними параметрами.

По виду виконуваних функцій регулятори поділяються на регулятори автоматичної стабілізації, програмні, коригувальні, регулятори співвідношення параметрів і інші.

Для керування кондиціонером найбільш доцільно використовувати типові ПІД регулятори. ПІД регулятор має бути налаштований із використанням одного із методів налаштування. Відома велика кількість методів, наприклад метод Копеловича, Кона та ін., однак оскільки моделі каналів описуються інерційною ланкою першого порядку без запізнення, то доцільно використовувати метод прямого синтезу за еталонною передатною функцією. Це метод доволі простий і дозволяє досить швидко отримати оптимальні налаштування.

Метод прямого синтезу за еталонною передатною функцією:

Для вибору методу регулювання скористаємося методом прямого синтезу за еталонною передатною функцією так як маємо об'єкт без запізнення.

Прирівняємо передатну функцію замкненої системи по завданню до деякої обраної передатної функції  $W_{ET}$ , тобто

$$W_{ET} = \frac{G_c G_p}{G_c G_p + 1},$$

де  $G_c$  – передатна функція регулятора,  
 $G_p$  – передатна функція об'єкта керування.

$$G_c = \frac{1}{G_p} \left( \frac{W_{ET}}{1 - W_{ET}} \right)$$

Таким чином, якщо задано необхідний вихід системи  $W_{ET}$ , можливо задати передатну функцію регулятора  $G_c$  для передатної функції об'єкта керування  $G_p$ .

Функція  $W_{ET}$  не може бути константою, а лише функцією від  $s$ , оскільки система не може реагувати миттєво і має мати час регулювання.

Для об'єкта першого порядку в вигляді інерційної ланки

$$G_p = \frac{k_o}{T_o s + 1}$$

представимо бажану передатну функцію у вигляді

$$W_{ET} = \frac{1}{\tau_c s + 1}.$$

Тоді регулятор має вигляд

$$G_c = \frac{T_o s + 1}{k_o} \cdot \frac{1}{\tau_c s} = \frac{T_o}{k_o \tau_c} \left( 1 + \frac{1}{T_o s} \right),$$

який є ПІ регулятором з налаштуваннями

$$Kp = \frac{T_o}{k_o \tau_c}, \quad Ti = T_o.$$

Розрахуємо параметри для каналу:

$$Kp = \frac{T_{об}}{K_{об} * \tau_c} = \frac{50}{0.21 * 40} = 5.9$$

$$T_u = T_{об} = 50$$

$$Kp = \frac{T_{об}}{K_{об} * \tau_c} = \frac{38}{0.2 * 20} = 9.5$$

$$T_u = T_{об} = 38$$

Перехідні процеси по завданню і збуренню для регуляторів обох каналів обрані наведені на рисунках 7 і 8.

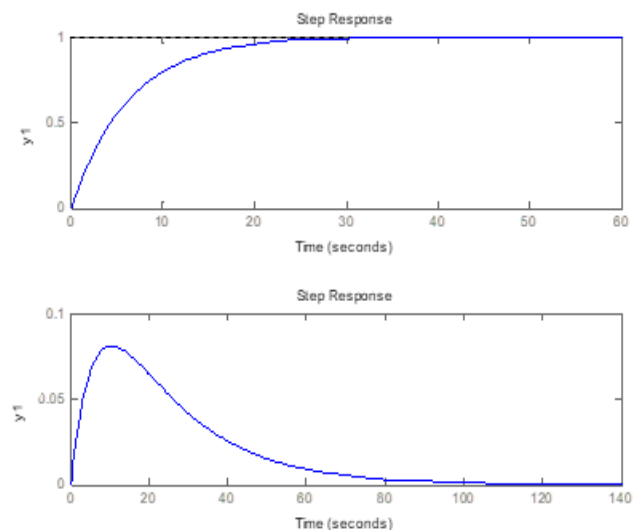


Рис. 7. Перехідні процеси в першому каналі при керуванні за збуренням

При керуванні за завданням час наростання – 14 с, час регулювання – 25 с.

При керуванні за збуренням час регулювання – 92.5 с, максимальне відхилення 0.08 .

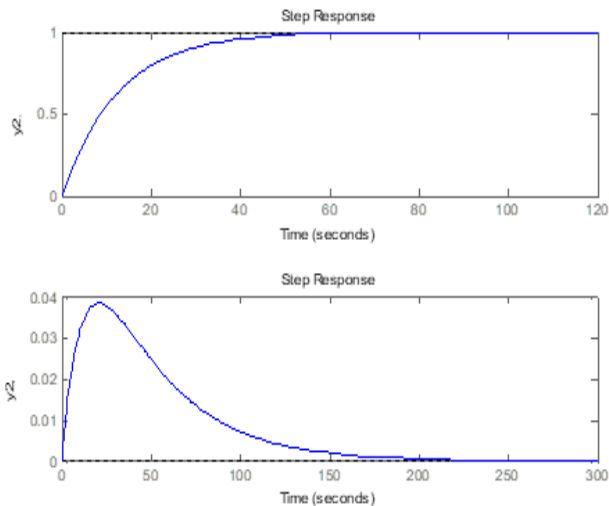


Рис. 8. Перехідні процеси в другому каналі при керуванні за завданням і збуренням

При керуванні за завданням час наростання – 28 с, час регулювання – 50 с.

При керуванні за збуренням час регулювання – 185 с, максимальне відхилення 0.0385.

Отже, синтезована децентралізована система керування на базі ПІ-регуляторів дозволяє отримати якісні перехідні процеси і може бути рекомендована для управління вентиляційною системою.

**Висновки.** У роботі розглянутий технологічний процес регулювання витратою повітря з розробкою навчального стенду. З'ясовано що вибір сучасної системи призведе до підвищення продуктивності надійності та якості, та полегшення обслуговування. Тому, при розробки алгоритму регулювання витратою повітря необхідно враховувати децентралізовану систему керування на базі ПІ-регуляторів.

#### Список літератури:

1. Ложечников В.Ф., Михайленко В.С. Методи побудови адаптивних систем управління / Автоматика. Автоматизація. Електротехнические комплексы и системы. 2009. Вип. 174. – 179 с.
2. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарніков В.П. Про можливість регулювання потужності енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. Теплоенергетика. Вип. 6. – 19 с.
3. Давыдов В.О., Крылов В.Н., Максимов М.В. Автоматизированная система распознавания / Искусств. интеллект. 2002. Вип. 462. – 469 с.
4. Тодорцев Ю.К., Бундюк А.М., Ларіонова О.С. Математична модель контура теплопостачання когенераційної енергетичної установки / Автоматика, автоматизація, електротехнічні комплекси та системи. 2009. Вип. 8. – 11 с.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТОЮ ПОВІТРЯ З РОЗРОБКОЮ НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДУ

У статті розроблено проект автоматичної системи регулювання витрати повітря шляхом зміни продуктивності нагнітаючого вентилятора, математичну модель частотного регулювання навчального стенду. Технічна реалізація базована на використанні мікропроцесорного комплексу VIPA Micro PLC.

**Ключові слова:** асп, витрата повітря, частотне регулювання, математична модель, навчальний стенд.

#### STUDIES OF COMPUTER-INTEGRATED AIR FLOW MANAGEMENT SYSTEM WITH THE DEVELOPMENT OF A TRAINING STAND

The article has developed a draft of an automatic air flow control system by changing the performance of an injection fan, a mathematical model of the frequency control of a training stand. The technical implementation is based on the use of the VIPA Micro PLC microprocessor complex.

**Key words:** automatic control system, air flow, frequency regulation, mathematical model, training stand.