

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

"Київський політехнічний інститут"

На правах рукопису
УДК 681.53

Кіселичник Олег Іванович

**БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
КОНДИЦІЮВАННЯМ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ**

05.13.07 "Автоматизація технологічних процесів та виробництв"

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1997

№. 38.535

Дисертацією є рукопис.
Роботу виконано на кафедрі електроприводу
та автоматизації промислових установок
Національного технічного університету України "КПІ"

Науковий керівник: Лауреат державної премії України,
доктор технічних наук, професор
Попович М.Г.

Офіційні опоненти: Доктор технічних наук, професор
Грищенко А.З.
Кандидат технічних наук, доцент
Лісовський В.С.

Провідна установа: інститут електродинаміки НАН України, м.Київ

Захист відбудеться "20" жовтня 1997 р. о 15 годині на
засіданні спеціалізованої ради Д 01.02.08 в Національному
технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" за
адресою: 252056, м. Київ-56, пр. Перемоги, 37, корп. 14, ауд. 56.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці НТУУ "КПІ"

Автореферат розісланий "16" вересня 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 01.02.08
доктор технічних наук,
професор



В.Д.Романенко

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00751529 (Т)

АНОТАЦІЯ

Загальною метою дисертаційної роботи є розробка та дослідження багатоканальної системи автоматичного керування кондиціонування повітря виробничих приміщень (САККП), з допомогою якої забезпечується виконання санітарно-технічних норм відносно параметрів повітря виробничих приміщень при підвищенні техніко-економічних показників за рахунок регулювання витрат повітря, температури, вологості і збереження електроенергії.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішено наступні головні питання:

- проведено аналіз технологічних особливостей процесу кондиціонування повітря, існуючих систем керування ним та сформульовано вимоги до багатоканальної САККП у відповідності з метою роботи;

- розроблено математичну модель багатоканальної САККП та її елементів;

- отримано структуру системи та алгоритми керування продуктивностями послідовно-працюючих припливного та витяжного вентиляторів з адаптуванням до опору мережі руху повітря на базі керованих асинхронних електроприводів;

- розроблено структурні схеми систем автоматичного керування температурою в приміщенні, температурою на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів та цифрових каскадних систем керування температурою і вологістю;

- розроблено процедури синтезу регуляторів продуктивностей вентиляторів, температур в приміщенні та на виході камери зрошування, температури та вологості каскадних схем керування;

- проведено дослідження багатоканальної САККП.

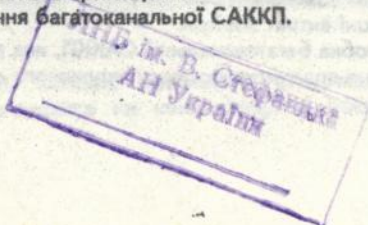
АВТОР ЗАХИЩАЄ

1. Математичну модель багатоканальної САККП.

2. Структуру системи та алгоритм керування продуктивностями послідовно-працюючих припливного та витяжного вентиляторів з адаптуванням до опору мережі руху повітря на базі керованих асинхронних електроприводів.

3. Методику визначення параметрів та структуру систем автоматичного керування температурами в приміщенні та на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів, цифрових каскадних систем керування температурою та вологістю в приміщенні.

4. Результати дослідження багатоканальної САККП.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність вирішуваної задачі. Одним із головних актуальних завдань є забезпечення належних умов праці людей у виробничих приміщеннях. У цьому напрямку не остання роль належить забезпеченню сприятливого атмосферного середовища на підприємствах, що зумовлює широке використання промислових систем кондиціонування повітря.

В сучасних умовах системи автоматичного керування кондиціонуванням повітря САККП виробничих приміщень повинні забезпечувати відповідну якість мікроклімату в приміщенні при умозі підвищення рівня енергозбереження.

Найбільш розповсюджена технологічна схема кондиціонування виробничих приміщень включає, як правило, дві вентиляторні установки з некерованими електроприводами: припливу, яка здійснює подачу повітря в приміщення, та витяжну, яка забезпечує його видалення. Використання некерованих вентиляторів, продуктивності яких вибрані у відповідності з максимальними виділеннями шкідливих газів, пилу, тепла, при окремих режимах робіт в цеху (наприклад, при незначних виділеннях шкідливих домішок і тепловиділеннях) призводить до зайвих втрат електроенергії для подачі значно завищеного об'єму зовнішнього повітря та теплоенергії на його прогрівання чи охолодження. Вибір вентиляторів та приводних двигунів здійснюють на основі приблизного розрахунку опору мережі руху повітря та бажаних величин продуктивностей з подальшим налаштуванням величин продуктивностей за допомогою направляючих апаратів чи засувок. Це спричинює низьку точність підтримання витрат повітря та зайві втрати електроенергії при зменшенні продуктивностей до бажаного значення в порівнянні з керованими за рахунок зміни частоти обертання вентиляторами. Крім цього зміна опору мереж руху повітря, наприклад, при забиванні фільтрів, викликає необхідність періодичного контролю та корекції величин продуктивностей вентиляторів направляючими апаратами чи засушками.

Тому значну перспективу має впровадження для приводу вентиляторів керованих асинхронних електроприводів, які забезпечують необхідний діапазон керування продуктивностями і більш економічний спосіб їх зміни, ніж при використанні направляючих апаратів чи засувок.

Створення на базі керованих вентиляторних установок замкненої по продуктивностях системи автоматичного керування підвищить якість керування витратами повітря та техніко-економічні показники технологічного процесу кондиціонування повітря.

Для підтримання параметрів мікроклімату в приміщенні з належною точністю необхідна розробка систем автоматичного керування температурою та вологістю, які забезпечують потрібні показники якості керування в заданому діапазоні витрат повітря.

Тому розробка багатоканальної САККП, яка включає електромеханічну систему керування продуктивностями припливного та витяжного вентиляторів

і системи керування температурою та вологістю повітря виробничих приміщень, є актуальним завданням.

Робота виконана у відповідності з планом науково-дослідних робіт кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Загальна методика досліджень. Для вирішення поставлених завдань використовувались відповідні розділи теорії автоматичного керування, електроприводу, теплотехніки, теорії турбомашин та цифрове моделювання.

Наукова новизна полягає у розробці

-алгоритма керування та математичної моделі САК продуктивностями припливного та витяжного вентиляторів з адаптуванням до опору мережі руху повітря на базі керування асинхронних електроприводів;

-математичних моделей систем автоматичного керування температурою в приміщенні та температурою на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів з урахуванням їх взаємозв'язку через кондиціонер і нелінійних характеристик трьохходових змішувальних клапанів;

-математичних моделей цифрових каскадних систем керування температурою і вологістю в приміщенні з урахуванням їх зв'язку через об'єкт і кондиціонер та нелінійних характеристик трьохходових змішувальних клапанів;

-структурної схеми багатоканальної САККП, методик її спрощення та синтезу.

Практична цінність. Впровадження багатоканальної САККП забезпечує необхідну якість мікроклімату виробничого приміщення при зниженні енерговитрат.

Розроблене програмне забезпечення по дослідженню САККП надає змогу автоматизувати процес проектування систем кондиціонування повітря.

Розроблено інженерні методики розрахунку регуляторів продуктивностей вентиляторів, температур в приміщенні та на виході камери зрошування, температури та вологовмісту каскадних схем керування.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень прийняті і використовуються в проєктних роботах ВАТ "Київпромелектропроект".

Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок НТУУ "КПІ" у лабораторному практикумі по курсу "Мікропроцесорні пристрої та системи", при дипломному проектуванні та бакалаврських випускних роботах.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на конференції з міжнародною участю

"Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика" (Алушта, 1996р.), семінарі "Проблеми створення електродвигунів і автоматизованих електроприводів змінного струму" у складі комплексної проблеми "Наукові основи електроенергетики" НАН України, 1996 р., на засіданнях кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок НТУУ "КПІ".

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 6 друкованих праць.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, підсумків, списку використаної літератури (104 найменування), чотирьох додатків на 51 сторінці. Викладена на 180 сторінках основного тексту, має 85 рисунків і 12 таблиць.

СТИСЛИЙ ВИКЛАД РОБОТИ

У вступі дано загальну характеристику роботи та сформульовано головні положення, які виносяться на захист.

У першому розділі розглянуто технологічні, електромеханічні та теплотехнічні аспекти побудови систем кондиціонування повітря, методи керування основними параметрами мікроклімату, проведено аналіз існуючих технологічних схем обробки повітря та систем керування ними. Показано, що використання вентиляторних установок з некерованими електроприводами для подачі та видалення повітря з приміщення спричинює низьку точність підтримання витрат повітря та призводить до зайвих витрат електричної енергії.

Сформульовано постановку задачі дослідження по розробці багатоканальної САККП.

Розроблювана багатоканальна САККП ґрунтується на існуючій, широко-розповсюдженій прямоотчній технологічній схемі обробки повітря (рис.1), при якій зовнішнє повітря в літній період проходить послідовно через камеру зрошування КЗ, калорифер другого підігрівання К2, припливний вентилятор В1, приміщення, витяжний вентилятор В2. Послідовність руху повітря для зимового періоду: калорифери попереднього КП і першого К1 підігрівання, КЗ, К2, В1, приміщення, В2.

Керування витратами повітря здійснюється наступним чином.

Сигнал завдання швидкості обертання вентиляторів ω формується регулятором продуктивності $PQ_{в}$, вхідним сигналом якого є сигнал розузгодження між заданою величиною продуктивностей $Q_{в}$ та сигналом з датчика продуктивності ДП. Керовані асинхронні електроприводи забезпечують відпрацювання сигналу завдання ω . Враховуючи, що вентилятори, припливний В1 і витяжний В2, двигуни М1 і М2 є однаковими, то напірні характеристики вентиляторів в статичних та динамічних режимах вважаються однаковими. Робоча точка вентиляторія визначається перетином характеристики опору мережі та сумарної напірної характеристики

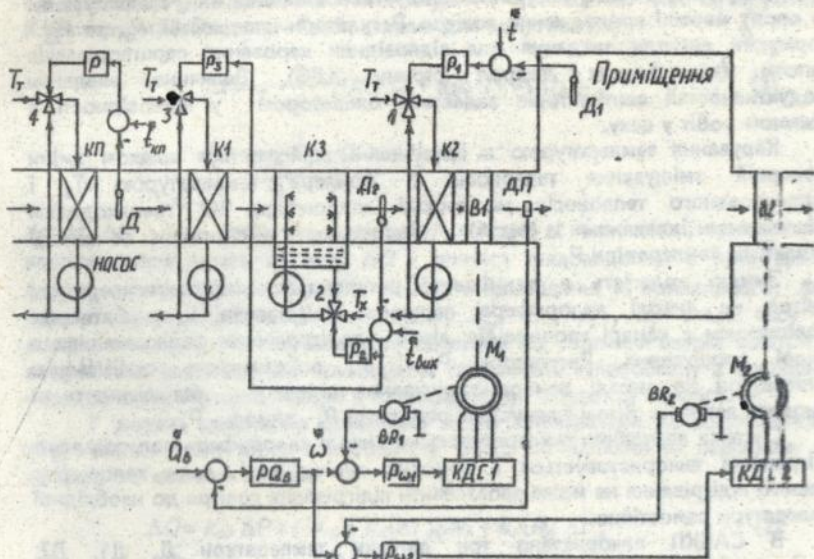


Рис.1

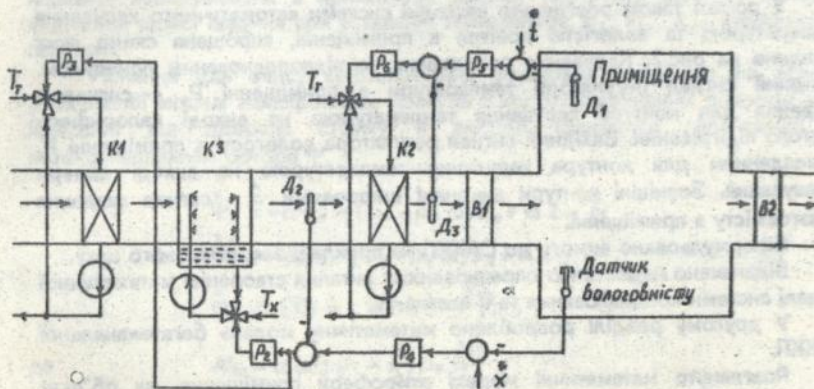


Рис.2

вентиляторів. При цьому регулятор продуктивностей забезпечує адаптування до опору мережі проходження повітря. Регулятори швидкостей P_{a1} та P_{a2} формують сигнали завдання для відповідних керованих перетворювачів частоти (трьохфазних джерел струму КДС). Величина завдання продуктивностей вентиляторів задається оператором у відповідності з режимом робіт у цеху.

Керування температурою в приміщенні здійснюється шляхом зміни пропорцій змішування теплоносія з бойлера температурою T_1 і відпрацьованого теплоносія на виході калорифера К2 трьохходовим змішувальним клапаном 1 (рис.1) у відповідності з сигналом на виході регулятора температури P_1 .

Зимом вологість в приміщенні регулюється зміною температури повітря на виході калорифера першого підігрівання і адіабатичним зволоженням в камері зрошування; літом - політропічним охолодженням в камері зрошування. Регулятори P_2 і P_3 забезпечують стабілізацію температури на виході камери зрошування відповідно для літнього та зимового періодів. Літом блокується регулятор P_3 ; зимою - P_2 .

Система керування температурою на виході калорифера попереднього підігрівання використовується в зимовий період тоді, коли калорифер першого підігрівання не може забезпечити підігрівання повітря до необхідної температури самостійно.

В САККП використано три датчики температури D , D_1 , D_2 . \bar{t} , $\bar{t}_{вхк}$, $\bar{t}_{лн}$ - відповідно сигнали завдань температур повітря в приміщенні, на виході камери зрошування і калорифера попереднього підігрівання.

У роботі також розглянуто каскадні системи автоматичного керування температурою та вологістю повітря в приміщенні, спрощена схема яких наведена на рис.2. Керування побудоване за підпорядкованим принципом. Вихідний сигнал регулятора температури в приміщенні P_5 є сигналом завдання для контура керування температурою на виході калорифера другого підігрівання. Вихідний сигнал регулятора вологості в приміщенні P_4 є завданням для контура керування температурою на виході камери зрошування. Зовнішні контури виконані цифровими. \bar{x} - сигнал завдання вологовмісту в приміщенні.

Сформульовано вимоги до САККП на прикладі зварювального цеху.

Відзначено недостатню опрацьованість питання створення математичної моделі системи кондиціонування та її елементів.

У другому розділі розроблено математичну модель багатоканальної САККП.

Розглянуто математичні моделі атмосфери приміщення, як об'єкта керування температури, отримані П.В.Участкіним, М.Б.Халамайзером, Б.М.Четверухіним.

Розроблена в роботі модель мікроклімату приміщення, як об'єкта керування температури та вологовмісту, ґрунтується на рівняннях, отриманих

Г.В.Архиповим для динаміки температури в приміщенні, Б.М.Четверужиним, К.Костирком, Б.Околович-Грабовською для вологовмісту

$$\Delta t = \frac{1}{T_{sp} p + 1} (k_1 \Delta t_n + k_2 \Delta Q + k_3 \Delta t_3), \quad (1)$$

$$\Delta x = \frac{1}{\frac{M_n}{G} p + 1} (\Delta x_n + \frac{1}{G} \Delta G),$$

де Δt , Δt_n , Δt_3 - прирости температур повітря в приміщенні, припливного повітря, зовнішнього повітря; ΔQ - приріст тепловиділень в приміщенні; Δx , Δx_n - прирости вологовмістів повітря в приміщенні та припливного; ΔG - приріст вологовиділень в приміщенні; T_{sp} , k_1 , k_2 , k_3 - стала часу та коефіцієнти передачі, величини яких залежать від величини витрат повітря q , коефіцієнта теплопередачі приміщення та поверхні теплообміну з зовнішнім середовищем; M_n - маса повітря в приміщенні; p - оператор Лапласа.

У моделі додатково враховано вплив температури на вологовміст і збурення по теплу Q та вологовмісту G від обладнання та персоналу за допомогою системи рівнянь

$$\Delta Q = k_{os} \Delta P + (W_{\lambda 0} + k_{\lambda 1} \Delta t) \Delta N_{\lambda} + k_{\lambda 1} N_{\lambda} \Delta t, \quad (2)$$

$$\Delta G = (G_{\lambda 0} + k_{\lambda 2} \Delta t) \Delta N_{\lambda} + k_{\lambda 2} N_{\lambda} \Delta t,$$

де ΔP - приріст потужності працюючого в приміщенні обладнання; N_{λ} - кількість перебуваючих в приміщенні людей; $W_{\lambda 0}$, $G_{\lambda 0}$ - тепло і вологовиділення однієї людини при усталеній температурі; k_{os} , $k_{\lambda 1}$, $k_{\lambda 2}$ - коефіцієнти передачі.

Рівняння для опису вентиляторних установок одержано на основі двохфазної моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при живленні від джерела струму в системі координат, пов'язаній з потокозчепленням ротора Ψ_2

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}_d &= -\alpha \Psi_d + (\omega_c - p_n \omega) \Psi_q + \alpha L_{12} i_d, \\ \dot{\Psi}_q &= -\alpha \Psi_q - (\omega_c - p_n \omega) \Psi_d + \alpha L_{12} i_q, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\dot{\omega} = \mu_1 (\Psi_d i_q - \Psi_q i_d) - \frac{M_{os}}{J},$$

$$\text{де} \quad M_{os} = \sigma \omega^2; \mu_1 = \frac{3}{2J} p_n \frac{L_{12}}{L_2}.$$

У моделі прийнято наступні позначення: Ψ_d , Ψ_q , i_d , i_q - відповідно проєкції вектора потокозчеплення ротора та струму статора на осі системи координат, пов'язаної з Ψ_2 , яка обертається з швидкістю ω ; ω , M_{os} - швидкість обертання вала та момент опору на ньому; J - приведений момент інерції вентиляторної установки; p_n - кількість пар полюсів; α - відношення

активного опору обмотки ротора до її індуктивності L_2 ; L_{12} - взаємна індуктивність обмоток ротора і статора; σ - коефіцієнт пропорційності. Краткими помічені похідні відповідних величин за часом.

Продуктивність послідовно-працюючих припливного та витяжного вентиляторів визначено наступним чином

$$Q_B = k_q \omega, \quad (4)$$

де k_q - коефіцієнт передачі, величина якого залежить від величини опору мережі проходження повітря.

Завдання адаптування системи керування продуктивностями припливного та витяжного вентиляторів до опору мережі руху повітря математично зводиться до побудови адаптивної системи відносно параметрів k_q і α . Адаптування полягає в самоналаштуванні регуляторів продуктивностей PQ_B та швидкостей $P_{\omega 1}$, $P_{\omega 2}$ (рис. 1) у відповідності зі зміною опору мережі руху повітря.

Рівняння, які описують калорифер з трьохходовим змішувальним клапаном, одержано у вигляді:

$$\begin{aligned} \Delta T_{eP} &= \frac{1}{T_k p + 1} (k_8 \Delta t_{\sigma} + k_7 \Delta T_H), \\ \Delta T_H &= (T_T - T_{OT}) \Delta z + (1 - z) \Delta T_{OT}, \quad (5) \\ \Delta t_{\sigma} &= k_4 \Delta T_{eP} + k_3 \Delta t_{\sigma}, \\ \Delta T_{OT} &= k_9 \Delta T_{eP} + k_6 \Delta t_{\sigma}, \end{aligned}$$

де Δt_{σ} , Δt_{σ} - прирости температур повітря на вході і виході калорифера; ΔT_H , ΔT_{OT} - прирости температур теплоносія на вході і виході калорифера; ΔT_{σ} - приріст середньої температури теплоносія в калорифері; Δz - зміна положення трьохходового змішувального клапану; k_4 , k_5 , k_6 , k_7 , k_8 , k_9 , T_k - коефіцієнти передачі та стала часу, величини яких залежать від витрат повітря q .

Математична модель камери зрошування з трьохходовим змішувальним клапаном та піддоном описана наступною системою рівнянь:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\text{вх}} &= \frac{1}{T_k s p + 1} (k_{11} \Delta t_{\text{вх}} + k_{12} \Delta z_{\text{вх}} + k_{13} \Delta t_3 + k_{14} \Delta T_{ce}), \\ \Delta T_p &= \frac{1}{T_{\text{вв}} p + 1} (k_{15} \Delta T_{KH} + k_{16} \Delta t_3), \quad (6) \\ \Delta T_{ce} &= (T_z - T_p) \Delta y + (1 - y) \Delta T_p, \end{aligned}$$

де $\Delta t_{\text{вх}}$, $\Delta t_{\text{вх}}$ - прирости температур повітря на виході і вході камери зрошування; Δt_3 - приріст температури повітря навколо камери зрошування; ΔT_{ce} - приріст температури води, яка надходить в камеру зрошування, ΔT_{KH} - води, яка конденсується в камері зрошування, ΔT_p - води

в піддоні; T_x - температура холодоносія; Δu - зміна положення змішувального клапану; $\Delta x_{\text{вх}}$ - приріст вологовмісту на вході камери зрошування; $T_{\text{вх}}$, $T_{\text{вд}}$ - сталі часу камери зрошування та піддону; k_{11} , k_{12} , k_{13} , k_{14} , k_{15} , k_{16} - коефіцієнти передачі (величини $T_{\text{вх}}$, k_{11} , k_{12} , k_{13} , k_{14} залежать від витрат повітря q).

На основі (1), (2), (3), (4), (5) та (6) в роботі розроблено структурні схеми електромеханічної адаптивної САК продуктивностями вентиляторів, САК температурами в приміщенні та на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів, цифрових каскадних САК температурою і вологістю в приміщенні.

У роботі обґрунтовано допустимість синтезу САК температурою в приміщенні та температурою на виході камери зрошування без урахування їх зв'язку через кондиціонер. Показано, що фактично цей зв'язок має місце лише під час запуску САККП чи зміні величин продуктивностей вентиляторів (коли відсутня робоча зміна в приміщенні) і час перехідного процесу в САК температурою на виході камери зрошування значно менший, ніж в САК температурою в приміщенні. При синтезі каскадних САК температурою і вологістю в приміщенні використано результати досліджень д.т.н. Четверужіна Б.М., згідно з якими системи керування температурою і вологовмістом в приміщенні можна вважати незалежними.

У третьому розділі проведено синтез багатоканальної САККП.

Реалізацію контурів керування швидкостями асинхронних двигунів вентиляторів розглянуто на прикладі системи векторного керування. Оскільки контури є однаковими, то проводиться синтез одного контура.

Величини завдань струмів статора \dot{i}_d , \dot{i}_q в системі координат, пов'язаній з Ψ_2 , сформовані у вигляді

$$\dot{i}_d = \frac{1}{\alpha L_{12} k_f} (\alpha \dot{\Psi}_d + \ddot{\Psi}_d + U_d), \quad (7)$$

$$\dot{i}_q = \frac{1}{\mu_1 k_f \dot{\Psi}_d} (-k_a \ddot{\omega} + \frac{\hat{\sigma}}{J} \omega^2 + \dot{\omega}),$$

де k_f - коефіцієнт передачі джерела струму; k_a - коефіцієнт підсилення похибки $\ddot{\omega} = \omega - \dot{\omega}$; $\hat{\sigma}$ - оцінний параметр σ (знаком * позначені відповідні сигнали завдання).

Сигнал швидкості обертання системи координат

$$\omega_c = p_n \omega + \frac{\alpha L_{12} k_f \dot{i}_q}{\dot{\Psi}_d} - \frac{U_q}{\dot{\Psi}_d}. \quad (8)$$

Формування величин U_d , U_q та $\hat{\sigma}$ здійснено таким чином, щоб забезпечувати від'ємність похідної знакододавної функції Ляпунова, вибраної у вигляді квадратичної форми

$$V = \frac{1}{2}(\gamma_1 \bar{\omega}^2 + \Psi_d^2 + \Psi_q^2 + \gamma_2 \bar{\alpha}^2), \quad (9)$$

де γ_1, γ_2 - сталі додатні коефіцієнти; $\Psi_d = \Psi_d - \dot{\Psi}_d$; $\Psi_q = \Psi_q - \dot{\Psi}_q$; $\bar{\alpha} = \alpha - \dot{\alpha}$ (α - стала величина на час перехідного процесу в САК):

$$U_d = -\gamma_1 \bar{\omega} \mu_1 k_1 \dot{I}_d, \quad U_q = \gamma_1 \bar{\omega} \mu_1 k_1 \dot{I}_d, \quad \dot{\alpha} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \frac{1}{J} \omega^2 \bar{\omega}. \quad (10)$$

При прийнятому алгоритмі контур керування є стійким і забезпечує в усталеному режимі відсутність похибок $\Psi_d, \Psi_q, \bar{\omega}, \bar{\alpha}$.

Приведення сигналів завдання струмів статорів до нерухої системи координат здійснюється за допомогою координатного перетворення

$$\dot{I}_{\alpha} = \dot{I}_d \cos(\omega_c \tau) - \dot{I}_q \sin(\omega_c \tau), \quad (11)$$

$$\dot{I}_{\beta} = \dot{I}_d \sin(\omega_c \tau) + \dot{I}_q \cos(\omega_c \tau),$$

де τ - час.

Синтез регулятора продуктивності PQ_B проведено аналогічно. При цьому керуюче завдання $\bar{\omega}$ вибрано у вигляді

$$\bar{\omega} = \hat{c}(k_{Tq} Q_B + \dot{Q}_B - k_Q \bar{Q}_B), \quad (12)$$

де \hat{c} - оцінний параметр c_q ; k_Q - коефіцієнт підсилення похибки $\bar{Q}_B = Q_B - \dot{Q}_B$; T_q - стала часу, яка визначає інерційність контурів швидкостей двигунів; $c_q = \frac{T_q}{k_q}$; $k_{Tq} = \frac{1}{T_q}$.

Функція Ляпунова V і алгоритм адаптування, який забезпечує $\dot{V} < 0$,

$$V = \frac{1}{2}(\bar{Q}_B^2 + \gamma \bar{c}^2), \quad (13)$$

$$\dot{c} = -\frac{1}{\gamma_3}(k_{1q} Q_B + \dot{Q}_B - k_Q \bar{Q}_B) \bar{Q}_B, \quad (14)$$

де $\gamma = const > 0$; $\bar{c} = c_q - \dot{c}$ (c_q вважається сталим на час перехідного процесу); $\gamma_3 = c_q \gamma = const > 0$.

Передаточну функцію незкоректованої розімкненої лінеаризованої САК температурою в приміщенні отримано у вигляді

$$W_{PT}(p) = \frac{\Delta t(p)}{\Delta z_1(p)} = \frac{k_{ST}}{(T'_{k2} p + 1)(T_{op} p + 1)}, \quad (15)$$

де k_{ST} - коефіцієнт передачі; T'_{k2} - стала часу; Δz_1 - зміна положення трьохходового змішувального клапану 1 (рис. 1).

Проведено налаштування САК на модульний оптимум. Передаточна функція синтезованого регулятора температури

$$W_{P1}(p) = K_{n1} \frac{T_{u1} p + 1}{T_{u1} p}, \quad (16)$$

де

$$T_{u1} = T_{op}; \quad K_{n1} = \frac{T_{op}}{2T_k k_{ST}}.$$

Синтез систем керування температурою на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів проведено без урахування додатного зворотнього зв'язку в камері зрошування через піддон, коефіцієнт передачі по якому менший 1, оскільки $T_{na} \gg T_{k3}$. Передаточна функція нескоректованої розімкненої лінеаризованої САК для зимового періоду отримана аналогічною виразу (15), а для літнього- у вигляді аперіодичної ланки. У результаті налаштування САК для зимового періоду на модульний оптимум отримано пропорційно-інтегральний закон керування температурою. У САК для літнього періоду застосовано також ПІ-регулятор, при цьому передаточна функція замкненої САК описується аперіодичною ланкою.

У вище перелічених системах використано промислові ПІ- регулятори типу РБІМ системи АКЕСР з серводвигунами сталої швидкості.

Синтез каскадних цифрових САК температурою і вологістю повітря в приміщенні виконано методом псевдо-частотних логарифмічних характеристик. При цьому бажані амплітудні логарифмічні псевдо-частотні характеристики розімкнених систем обирались таким, щоб бажана псевдо-частотна характеристика описувалась виразом

$$W_{баз}(\lambda) = \frac{K_{баз} (1 - j \frac{T_0}{2} \lambda)}{j \frac{T_0}{2} \lambda}, \quad (17)$$

де T_0 - період квантування; $K_{баз}$ - коефіцієнт передачі, який визначається бажаним часом перехідного процесу.

Дискретна передаточна функція нескоректованої каскадної САК вологістю без урахування інерційності внутрішнього контура керування температурою на виході камери зрошування одержана у вигляді

$$W_{РОЗХ}(z) = \frac{b_1}{z + a_1}, \quad (18)$$

де a_1, b_1 - сталі, величина яких залежить від витрат повітря.

Синтезована дискретна передаточна функція регулятора вологовісти

$$D(z) = K_{роз} \frac{p_1 z + p_2}{z - 1}, \quad (19)$$

де $K_{роз}$ - коефіцієнт передачі; $p_1 = T_{РОЗХ} + \frac{T_0}{2}$; $p_2 = -T_{РОЗХ} + \frac{T_0}{2}$;

$$T_{РОЗХ} = \frac{1 - a_1 T_0}{1 + a_1 / 2}.$$

Дискретні передаточні функції розімкненої нескоректованої каскадної САК температурою в приміщенні без урахування інерційності внутрішнього

контур керування температурою на виході калорифера другого підігрівання та регулятора температури одержано аналогічними виразами (18), (19). Синтез контура керування температурою на виході калорифера другого підігрівання здійснено аналогічно, як САК температурою на виході камери зрошування для літнього періоду.

Двома шляхами проведено вибір параметрів ПІ-регулятора температури в приміщенні при врахуванні в передаточній функції (15) чистого запізнення. Перший вибір величини k_{a1} при T_{d1} , отриманий при синтезі регулятора без урахування запізнення, таким чином, щоб забезпечити заданий частотний показник коливальності M . Другий вибір k_{a1}

і T_{a1} , які при обмеженні на частотний показник коливальності M забезпечують мінімум лінійного інтегрального критерія якості.

У четвертому розділі, для перевірки правильності процедури синтезу системи, проведено дослідження багатоканальної САКПП, технологічна схема якої базується на кондиціонері КНУ-7.5, вентиляторах Ц4-70 №6 з приводними двигунами 4А100S4УЗ потужністю 3 кВт.

Моделювання поведінки контура керування швидкістю асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором проведено при розрахунковій величині $\sigma=0.00111\text{Нм}/(\text{рад}/\text{с})^2$ та величинах σ , які складають 80 та 120% від розрахункової. Дослідження показали, що фактично одразу забезпечується рівність ω і $\dot{\omega}$. При цьому параметри регулятора швидкості обирались так, щоб оцінна величина $\hat{\omega}$ змінювалась за аперіодичним законом. Час адаптування складав 0.5 секунди.

Недоліком алгоритму (7) є необхідність диференціювання сигналу завдання швидкості. Результати перевірки працездатності контура при неврахуванні $\dot{\omega}$ наступні: контур керування швидкістю можна апроксимувати аперіодичною ланкою, стала часу якої практично не залежить від величини σ ; в усталеному режимі забезпечується відсутність похибки $\dot{\omega}$. Параметри регулятора обирались такими, щоб адаптування здійснювалось за аперіодичним законом.

Дослідження контура керування продуктивностями вентиляторів проведено при розрахунковій величині $k_g=0.0202\text{ кг}/\text{рад}$, $T_g=0.02\text{ с}$ та при величині k_g , яка складає 80% від розрахункової. Параметри регулятора продуктивностей обирались такими, щоб забезпечити аперіодичність зміни оцінної величини \hat{c} . Результати дослідження контура виявили:

- відсутність статичної похибки по продуктивностях;
- відсутність коливальних процесів у контурі;
- працездатність контура при неврахуванні керуючого сигналу по похідній величині завдання \dot{Q}_B за часом.

Дослідження спільної роботи систем керування температурою в приміщенні та температурою на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів проведено з урахуванням їх взаємозв'язку через кондиціонер і нелінійностей трьохходових змішувальних клапанів.

Величини завдань температури в приміщенні та температури на виході камери зрошування для зимового та літнього періодів приймалися відповідно еквівалентними 18°С, 8°С (зима), 20°С, 12°С (літо). Розрахункові параметри зовнішнього повітря взимку: температура 7°С, вологовміст 5 г/кг; влітку: 28°С, 11 г/кг. На систему діяли наступні збурення: поява 15 людей та ввімкнення обладнання потужністю 20 кВт, зменшення кількості людей до 5 та вимкнення обладнання.

У результаті моделювання отримано наступні результати:

- підтверджено практичну незалежність САК температурою в приміщенні та температурою на виході камери зрошування;
- системи забезпечують необхідну якість керування мікрокліматом приміщення для зимового та літнього періодів в діапазоні витрат повітря 1:2 (точність підтримання температури 1°С, відносної вологості 7%);
- параметри ПІ-регуляторів температури в приміщенні та температури на виході камери зрошування для зимового періоду слід розраховувати для відповідних САК, лінеаризованих при положеннях трьохходових змішувальних клапанів близьких до закриття;
- збільшення величини відношення часу запізнення до сталої часу приміщення T_p призводить до зменшення запасу стійкості САК температурою в приміщенні;
- забезпечення необхідної якості керування температурою в приміщенні при врахуванні чистого запізнення досягається шляхом зменшення коефіцієнта підсилення ПІ-регулятора, синтезованого для САК без урахування запізнення.

Дослідження каскадних цифрових систем керування температурою та вологістю повітря в приміщенні проведено при тих же розрахункових параметрах зовнішнього повітря для зимового й літнього періодів та збуреннях, що і для одноконтурних систем.

Розрахунки перехідних процесів при величинах завдань параметрів мікроклімату приміщення еквівалентних температурі 18°С, вологовмісту 7 г/кг для зимового періоду та 20°С, 9 г/кг для літнього підтвердили практичну незалежність каскадних САК температурою та вологовмістом в приміщенні. Системи задовольняють вимоги щодо якості керування мікрокліматом в діапазоні витрат повітря 1:2. В порівнянні з одноконтурними системами цифрові каскадні САК забезпечують вищу точність підтримання температури та вологості в приміщенні.

У підсумках сформульовано головні висновки та результати роботи.

Результати роботи використовуються в проектних роботах ВАТ "Київпромелектропроект" та навчальному процесі кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок НТУУ "КПІ".

У додатках дисертації проведено вибір апаратури системи кондиціонування, наведено розроблені програми на Pascal 7.0 для

дослідження САККП та документи, які підтверджують використання результатів роботи.

ГОЛОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Аналіз технологічних особливостей процесу обробки повітря, праць у галузі систем кондиціювання атмосфери виробничих приміщень показав актуальність розробки багатоканальної САККП з підвищеними техніко-економічними показниками. Це завдання вирішено завдяки розробці електромеханічної САК продуктивностями вентиляторів з адаптуванням до опору мережі руху повітря на базі керованих асинхронних електроприводів та САК температурами в приміщенні та на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів, які забезпечують необхідну якість керування мікроклімату в діапазоні витрат повітря 1:2 (точність підтримання температури 1°C , відносної вологості 7%).

2. Синтезована система керування продуктивностями вентиляторів задовольняє вимоги щодо якості керування витратами повітря та забезпечує самоналаштування регуляторів продуктивностей та швидкостей у відповідності зі зміною опору мережі руху повітря.

3. Розроблено цифрові каскадні системи керування температурою і вологістю повітря в приміщенні, які забезпечують вищу якість керування мікроклімату, ніж одноконтурні.

4. На основі запропонованих алгоритмів керування розроблено математичні моделі багатоканальної САККП виробничих приміщень та її елементів. У моделях враховано нелінійність характеристик трьохходових змішувальних клапанів, взаємозв'язок САК температурою в приміщенні та температурою на виході камери зрошування через кондиціонер, каскадних САК температурою та вологістю через кондиціонер і об'єкт.

5. Розроблені методики спрощення структурної схеми САККП, визначення її параметрів, процедура синтезу.

Синтез систем керування температурою в приміщенні та температурою на виході камери зрошування і цифрових каскадних систем керування температурою та вологістю в приміщенні можна проводити окремо з подальшим дослідженням їх взаємовпливу на ЕОМ. При синтезі можна не враховувати додатний зворотний зв'язок в камері зрошування через піддон.

САК температурою в приміщенні доцільно налаштувати на модульний оптимум. У системах керування температурою на виході камери зрошування для літнього та зимового періодів доцільно застосувати ПІ-регулятори. Параметри ПІ-регуляторів температури в приміщенні та температури на виході камери зрошування для зимового періоду слід розраховувати для відповідних САК, лінеаризованих при положеннях трьохходових змішувальних клапанів близьких до закриття. Величину коефіцієнта підсилення ПІ-регулятора температури в приміщенні слід зкоректувати в залежності від величини часового запізнення в об'єкті.

б. Розроблене програмне забезпечення по дослідженню САККП надає змогу автоматизувати процес проектування систем кондиціонування повітря.

7. Результати роботи можуть бути використані для розробки систем автоматичного керування кондиціонуванням та вентиляцією повітря виробничих приміщень машинобудівної, приладобудівної, хімічної промисловостей, сільськогосподарських об'єктів, медичних установ.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РОБОТИ ВИКЛАДЕНО В НАСТУПНИХ ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Синтез цифровой САР локальной вентиляторной установки с векторно-управляемым асинхронным электроприводом / Попович Н.Г., Киселичник О.И. / Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Труды конференции с международным участием. Крым, Алушта, 16-21 сентября 1996. Под общей редакцией В.Б.Клепикова, Л.В.Акимова. Харьков, "Основа", 1996. - с.92-94.

Дисертантом обґрунтовано необхідність побудови замкненої САК продуктивністю вентиляторної установки, отримано математичну модель, розроблено процедуру синтезу методом псевдо-частотних логарифмічних характеристик.

2. Киселичник О.І. Енергозберігаючий алгоритми керування витяжною вентиляційною установкою. Промислова електроенергетика та електротехніка. Інформаційний збірник. -К.: ВАТ "Київпроелектропроект", ТОВ "ЕТІН", випуск перший, 1997. - с.53-56.

3. Киселичник О.І. Синтез адаптивних електромеханічних систем автоматичного керування (САК) вентиляційних установок промислових кондиціонерів. Промислова електроенергетика та електротехніка. Інформаційний збірник. -К.: ВАТ "Київпроелектропроект", ТОВ "ЕТІН", випуск перший, 1997. - с.47-52.

4. Система керування температурою в виробничому приміщенні / Попович М.Г., Мацко Б.М., Киселичник О.І.; Нац. техн. ун-т "Київ. політехн. ін-т." -Київ, 1996. - 9 с. : іл. -Бібліогр. : 2 назв. -Укр. - Деп. в ДНТБ України від 24.10.96 №2130 УК96.

Розроблено математичні моделі САК температурою в приміщенні, об'єкта керування, калорифера, процедуру синтезу регулятора температури.

5. Адаптивна система керування продуктивністю вентиляторної установки / Попович М.Г., Пересада С.М., Киселичник О.І.; Нац. техн. ун-т "Київ. політехн. ін-т." -Київ, 1996. - 9 с. : іл. -Бібліогр. : 2 назв. -Укр. - Деп. в ДНТБ України від 24.10.96 №2129 УК96.

Розроблено математичну модель та процедуру синтезу САК продуктивностями вентиляторних установок з векторно-керуваними асинхронними електроприводами з адаптуванням до опору мережі руху повітря.

6. Розробка комплексних систем автоматичного керування станом екологічного середовища промислових підприємств. Звіт по НДР. /

УкрІНТЕІ; Попович М.Г., Кіселичник О.І. та інші. Номер держреєстрації 01930030824; Інв. №02944000501. -К.,1994. -125 с.
 Проведено огляд існуючих способів керування температурою та вологістю повітря виробничих приміщень. Розроблено функціональні та структурні схеми систем автоматичного керування температурами в приміщенні та на виході камери зрошування, їх математичні моделі.

АННОТАЦИЯ

Киселичник О.И. Многоканальная система автоматического управления кондиционированием воздуха производственных помещений. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 "Автоматизация технологических процессов и производства". Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1997 г.

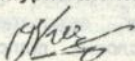
Защищаются результаты исследований по разработке многоканальной САУ с повышенными технико-экономическими показателями. Система состоит из электромеханической САУ производительностями вентиляторов с адаптацией к сопротивлению сети движения воздуха, систем управления температурами в помещении и на выходе камеры орошения для зимнего и летнего периодов. Рассмотрена цифровая каскадная реализация систем управления температурой и влажностью воздуха в помещении. Разработаны математическая модель многоканальной САУ, процедуры ее упрощения и синтеза, программное обеспечение для исследования статических и динамических характеристик.

ABSTRACT

Kiselichnik O.I. Multichannel automatic control system of industrial room air conditioning . Manuscript. Dr.Philosophy dissertation on speciality 05.13.07 "Automation of technological processes and manufactures". National Technical University of Ukraine "Kyiv polytechnic institute", Kyiv, 1997.

Dissertation research deals with multichannel automatic control system with improved technical and economic characteristics. System consist of ventilator productivity electromechanical automatic control system with adapting to air movement path resistance, control system of indoor temperature and control system of output damper temperature for summer and winter periods. Numerical cascade control system of indoor temperature and humidity is considered. Mathematical model of multichannel control system, its simplification and design procedures, software for investigation are developed.

Ключові слова: автоматизація, кондиціонування повітря виробничих приміщень, вентиляторна установка, керований асинхронний електропривід, калорифер, камера зрошування, система автоматичного керування, математична модель, структурна схема, техніко-економічні показники.



Лаб. офсетного друку НТУУ "КПІ"

Зам. №177, тираж 100.

434675

AB 38.535

AB 38.535