

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕННЯ

Конох І.С., ст. викл., Гула І.С., асист., Перекрест А.Л., к.т.н, доц., Сукач С.В., ст. викл.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

У роботі представлений спосіб управління мікрокліматом приміщень з використанням нечіткого регулювання частоти обертання вентилятора та кута повороту повітряної засувки.

Ключові слова: параметри мікроклімату приміщення, вентиляційна система, нечітке регулювання, система керування.

Вступ. Працездатність і здоров'я людини безпосередньо залежать від умов мікроклімату приміщення, в якому вона знаходиться. Порушення допустимих показників параметрів нормального мікроклімату в приміщеннях несприятливо впливає на здоров'я людини.

Основними нормованими параметрами повітря в приміщенні являються: температура, вологість, швидкість руху, газовий склад, наявність механічних частинок та пилу [1]. Створення оптимального складу повітряного середовища в приміщенні може здійснюватись шляхом видалення тепло-, газо- й вологонадлишків, пилу та додавання необхідної кількості свіжого повітря з попередньою його підготовкою (охолодження чи нагрівання, осушення чи зволоження, фільтрація й т.ін.).

Аналіз [1, 2] показав, що, у відповідності до санітарно-гігієнічних вимог, найбільш сприятливою є значення температури 20-25° С, а допустимими є коливання в теплий період – від 20° С до 28° С, в холодний та перехідний періоди – від 18° С до 22° С. Відносна вологість вважається оптимальною в діапазоні від 30 до 60%. Верхня допустима межа вологості – 65%.

При температурі повітря 20-25° С допустима швидкість руху повітря має складати 0,2-0,3 м/с для легких робіт, 0,4-0,5 м/с – для робіт середньої тяжкості та 0,6 м/с – для тяжких робіт [3].

Кількість кисню, необхідного людині для підтримання нормальної життєдіяльності, залежить від інтенсивності виконуваної ним роботи і повинна становити 18% [1].

Для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату використовуються три підсистеми:

- вентиляція – забезпечення повітрообміну і подача свіжого повітря;
- кондиціонування – підтримка параметрів повітря та його очистка в замкнутому об'ємі;
- опалювання – штучний обігрів приміщень.

Кожна з підсистем виконує свою функцію, й лише при їх сумісній роботі можна досягти найкращого результату у створенні потрібного мікроклімату.

У роботі розглянуто підсистему вентиляції.

Необхідний повітрообмін для систем вентиляції можна визначити за нормативними вимогами до вмісту тепла, вологи та газів у приміщенні; методика точного розрахунку якого приведена в СНиП 2.04.05-91 [3].

Останнім часом для керування системами кондиціонування і вентиляції повітря активно розвиваються принципово нові закони регулювання під назвою „нейротехнологія та нечітка логіка” (Neuro&Fuzzy logic).

Нейронні мережі – це обчислювальні структури, які моделюють біологічні процеси, що зазвичай асоціюються з процесами людського мозку. Нейронні мережі являють собою розпаралелені системи, здатні до навчання й адаптації шляхом аналізу позитивних і негативних впливів [4].

Нечітка логіка оснований на використанні таких мовних зворотів, як «далеко», «близько», «холодно», «гаряче». Діапазон її застосування досить широкий – від побутових приладів до управління складними промисловими процесами. Багато задач управління не можуть бути вирішені класичними методами через велику складність математичних моделей, що їх описують. Побудова нечіткої моделі базується на формальному представленні характеристик системи, що досліджуються, в термінах лінгвістичних змінних. Оскільки, окрім алгоритму керування, основними поняттями систем керування є вхідні та вихідні змінні, то саме вони розглядаються як лінгвістичні змінні при формуванні бази правил у системах нечіткого виводу. Мета керування полягає в тому, щоб на основі аналізу поточного стану об'єкта керування визначити значення керуючих змінних, реалізація яких дозволяє забезпечити бажану поведінку чи стан об'єкта керування.

Мета роботи. Обґрунтування структури, розробка й дослідження інтелектуальної системи регулювання параметрів мікроклімату приміщення.

Матеріал і результати дослідження. У роботі розглянуто новий підхід для регулювання параметрів мікроклімату приміщення. В якості системи підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні та здійснення необхідного повітрообміну було розглянуто вентиляційну систему, прототипом якої є розроблена система вентиляції лабораторного комплексу кафедри «Системи автоматичного управління і електропривод» Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського.

Досліджувана вентиляційна система складається з витяжної вентиляції з електроприводом ПЧ-АД та індивідуальної

приточної вентиляції, розрахованих на провітрювання чотирьох лабораторних приміщень.

Для провітрювання аудиторій використовується вентилятор Ц9-57-4, що характеризується наступними параметрами: продуктивність $Q = 3231 \text{ м}^3/\text{год}$, повний тиск $H = 144,477 \text{ кг/м}^2$, потужність $P=4 \text{ кВт}$. Вентилятор розташований на валу асинхронного двигуна (АД) потужністю 5,5 кВт. Регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється перетворювачем частоти ACS350, що має цифрові входи та виходи для реалізації двостороннього зв'язку з керуючим пристроєм. Особливістю ПЧ є вбудований датчик струму.

Вентиляційна система у своєму складі має додаткове устаткування. Прилад ТРЦ 02-В призначений для виміру й регулювання температури й відносної вологості повітря у виробничих технологічних процесах. Діапазон виміру температури знаходиться в межах $0-100^\circ \text{C}$, вологості – $0-100\%$.

Аналізатор кисню АГ 0011 призначений для безперервного виміру об'ємної частки кисню в газових сумішах певного складу (у тому числі в повітрі) і видачі вимірювальної інформації у вигляді показань на цифровому звітному пристрої.

Для регулювання повітряного потоку використовують дросельні засувки, встановлені перед вентилятором. Вони виконують роль направляючого апарату. Механізми типу МЕО-0,63 використовують для переміщення повітряних засувок відповідно до команд керуючого пристрою. Номінальний хід вихідного органу механізму МЕО-0,63 становить 0,25 обороти; номінальний час ходу

вихідного органу – 26 с; потужність двигуна – 65 Вт.

В якості погоджуючого пристрою використовується універсальна система збору даних NI USB 6009.

Задача системи управління для вентиляційного комплексу – забезпечення роботи з мінімальними енергетичними втратами при підтримці комфортних умов перебування в кімнаті. Для вирішення цієї задачі необхідним є створення імітаційної моделі, яка відповідала б фізичній вентиляційній системі. За допомогою імітаційної моделі можна дослідити динаміку зміни параметрів мікроклімату й обрати оптимальні режими роботи системи.

Першочерговим завданням є контроль параметрів мікроклімату – температури, вологості та вмісту кисню в повітрі.

Об'єктом регулювання є вентиляване приміщення, в якому відбувається зміна нормованих параметрів повітря через вплив зовнішнього повітря та внутрішніх процесів. Системи вентиляції повинні підтримувати нормовані показники мікроклімату з мінімальним енерговикористанням.

При створенні систем автоматичного регулювання (САР) вентиляції повітря необхідно знати перехідні характеристики як окремих елементів, так і системи в цілому, щоб обрати регулятор, датчики, виконавчі пристрої та побудувати САР. Для дослідження режимів роботи вентиляційної системи з регулюванням електроприводу (ЕП) двигуна та засувки було створено математичну модель, структурна схема якої зображена на рис. 1.

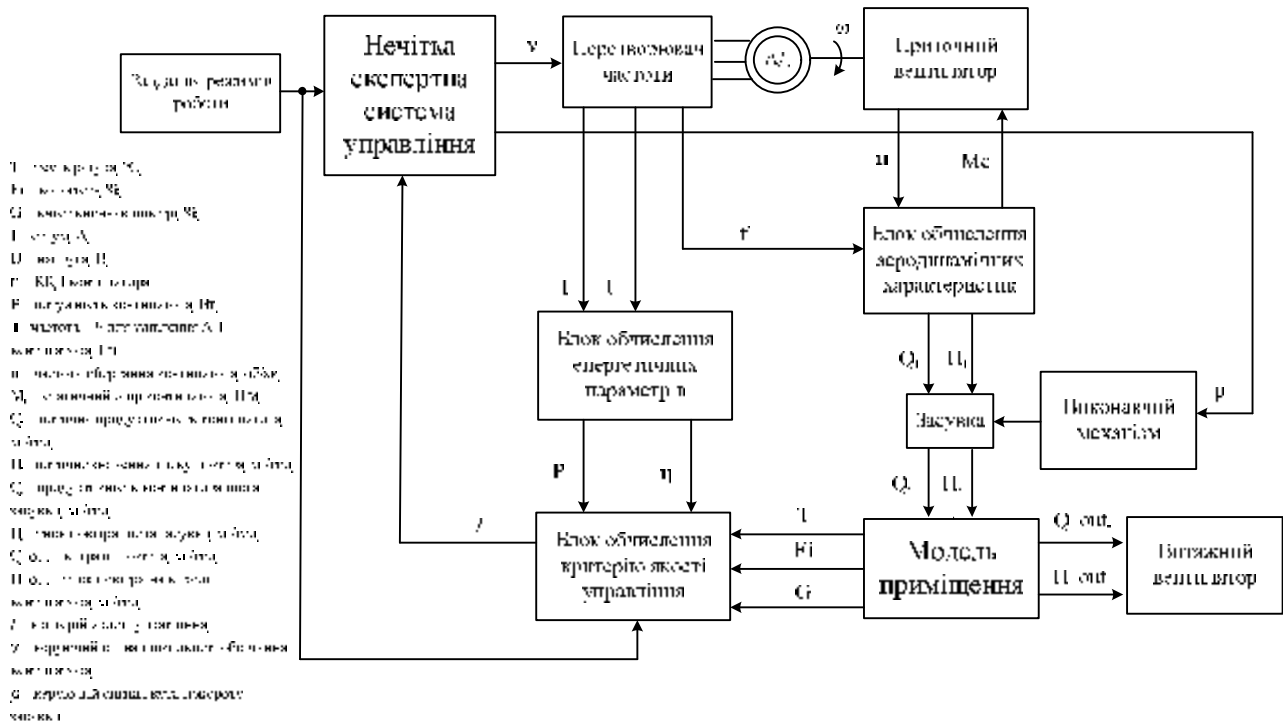


Рисунок 1 – Загальна схема моделювання підсистеми вентиляції

Вона складається з окремих блоків: модель електроприводу (перетворювач частоти, АД, вентилятор), модель приміщення, блок обчислення аеродинамічних характеристик та модель критерію якості управління.

Керуючі алгоритми реалізуються з використанням математичного апарату нечіткої логіки, де для опису системи замість диференціальних рівнянь використовуються знання експертів та апріорні табличні залежності [4].

Модель електроприводу має в своєму складі 3-фазний АД та ПЧ. При розрахунках асинхронна машина включає в себе модель електричної частини та механічної частини [5]. Усі електричні змінні й параметри машини приведені до статора.

До основних енергетичних характеристик системи ПЧ-АД відноситься активна P потужність, яка споживається з мережі електроприводом, а також коефіцієнт корисної дії (ККД) η . Тому структура моделювання включає обчислення енергетичних параметрів.

Модель приміщення призначена для відображення процесів зміни мікрокліматичних параметрів у залежності від параметрів зовнішнього повітря – температури, вологості та вмісту кисню в повітрі (T_z, F_{i_z}, G_z), а також продуктивності й подачі для обраного типу вентилятора (Q, H_i). Взаємозв'язок вхідних і вихідних змінних при моделюванні відображається за допомогою наступних диференціальних рівнянь для температури (1), вологості (2) та вмісту кисню в повітрі (3):

$$T_1 \frac{dT_{pr}(t)}{dt} + K_0 T_{pr}(t) = K_0 K_1 T_z(t), \quad (1)$$

$$T_2 \frac{dF_{i_{pr}}(t)}{dt} + K_0 F_{i_{pr}}(t) = K_0 K_2 F_{i_z}(t), \quad (2)$$

$$T_3 \frac{dG_{pr}(t)}{dt} + K_0 G_{pr}(t) = K_0 K_3 G_z(t), \quad (3)$$

де K_0 – коефіцієнт швидкості заміни внутрішнього повітря зовнішнім; K_1, K_2, K_3 – пропорційні коефіцієнти; T_1, T_2, T_3 – постійні часу; T_z, F_{i_z}, G_z – зовнішні параметри;

$T_{pr}, F_{i_{pr}}, G_{pr}$ – параметри мікроклімату в приміщенні

Коефіцієнт швидкості заміни внутрішнього повітря зовнішнім визначається за наступним виразом:

$$K_o = \frac{Q_{in}^2}{Q_{max} \cdot Q_{out}}, \quad (4)$$

де Q_{in} – продуктивність притоку повітря, $m^3/год$; Q_{out} – продуктивність обробленого повітря (витяжки), $m^3/год$; Q_{max} – максимальна продуктивність обраного типу вентилятора, $m^3/год$.

Пропорційні коефіцієнти враховують пріоритетність параметрів мікроклімату. У наведеній моделі прийнято, що $K_1=K_2=K_3=1$. Постійні часу T_1, T_2, T_3 визначені як відносні величини, що враховують середнє значення мікрокліматичного параметру та кратності повітрообміну.

На вхід блоку обчислення аеродинамічних характеристик вентилятора подаються два керуючі сигнали – кут повороту дросельної засувки у відносних одиницях ρ [0; 1] та швидкість обертання вентилятора n , об/хв. За вказаними параметрами визначається фактична (поточна) витрата повітря Q_i , $m^3/год$.

У даному блоці використовуються функціональні залежності між параметрами аеродинамічної характеристики обраного типу вентилятора. Для обчислення тиску повітря використовується таблична залежність зміщення аеродинамічної характеристики в залежності від швидкості оборотів вентилятора, таблична залежність тиску від продуктивності $H=f(Q)$ при максимальній швидкості вентилятора.

Задавши залежність зміни тиску від швидкості оборотів вентилятора та помноживши на коефіцієнт K_p , можна отримати подачу. Коефіцієнт K_p відповідає перетворенню тиску повітря в одиниці вимірювання СІ (1 мм вод. ст.=9,8 Па).

ККД вентилятора обчислюється за табличною залежністю ККД вентилятора від фактичних витрат повітря та швидкості обертання вентилятора відповідно до аеродинамічної характеристики [6].

Момент опору вентилятора визначається за наступним співвідношенням:

$$M = \frac{P_{aero}}{w \cdot h_v}, \quad (5)$$

де P_{aero} – аеродинамічна потужність, Вт [6]; $w = n \cdot K_v$ – швидкість обертання вентилятора, об/хв; K_v – коефіцієнт представлення швидкості обертання вентилятора в радіанах.

Критерій управління, за яким налаштовується вентиляційна система – максимальна комфортність при мінімальному енергоспоживанні. Задача нечіткого контролеру у досліджуваній вентиляційній системі – комбіноване управління швидкістю вентилятора й положенням повітряної засувки для забезпечення максимального ККД з мінімальним енергоспоживанням при максимальному збереженні комфортних умов.

Даний спосіб полягає у використанні параметрів PMV (Predicted Mean Voice - прогнозоване середнє значення), що визначають для людини комфорт навколишнього середовища за величиною індексів дискомфорту [1].

Система вимірює температуру, вологість і вміст кисню в повітрі й автоматично обирає режим роботи.

Вибір ґрунтується на практичному аналізі – за еталон беруться стандартні значення параметрів, задані користувачем системи.

Відчуття теплоти чи прохолоди являється наслідком не лише температури повітря, але й його вологості. Температура повітря $26^\circ C$ та вологість 50-60% вважаються комфортними влітку, тоді як температура $22^\circ C$ буде комфортною взимку. Однак навіть температура $29^\circ C$ буде знаходитись у зоні комфортності при вологості 50%, тоді як ця ж температура при вологості 70% буде високою і виникатиме відчуття „паркості”[1].

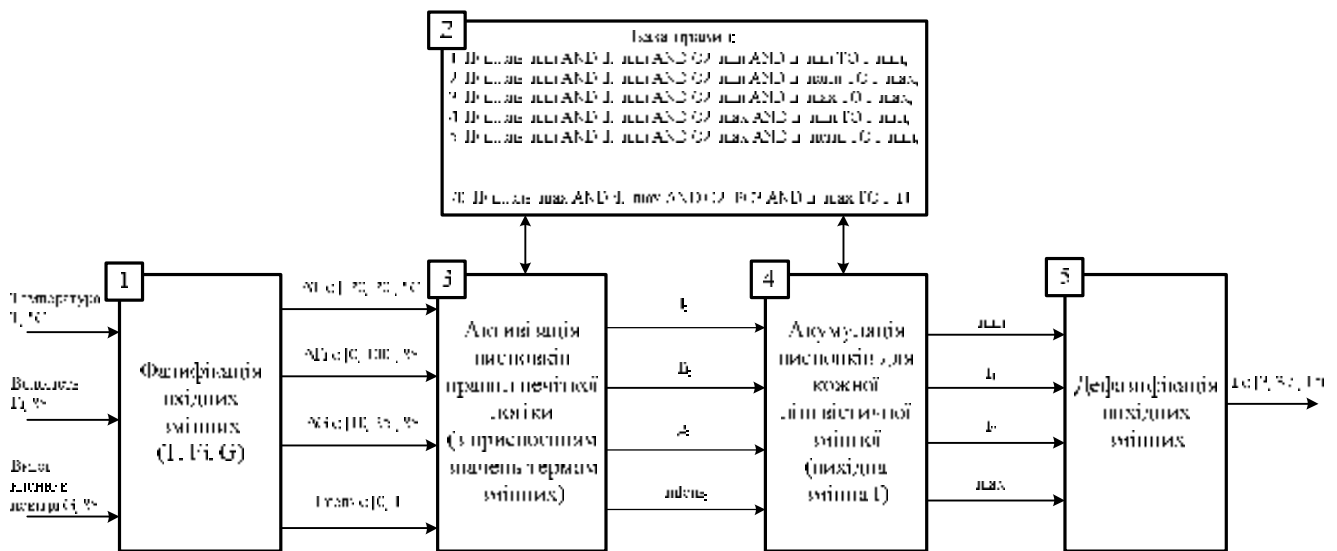


Рисунок 2 – Схема управління частотою обертання вентилятора з використанням технології нечіткого регулювання

Модель критерію якості управління складається з двох підблоків. Перший визначає сумарний показник комфорту, другий – показник енергетичної ефективності роботи системи.

Відповідно до вказаного способу було сформульовано наступний критерій якості управління системою вентиляції:

$$I_1 = \left(\frac{T_z - T_i}{T_z} \right)^2 + a_1 \left(\frac{Fi_z - Fi_i}{Fi_z} \right)^2 + a_2 \left(\frac{G_z - G_i}{G_z} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$\begin{cases} Fi_z < 35, \% & T_z \in [21; 22], ^\circ C; \\ Fi_z \in [35; 45], \% & T_z \in [23; 25], ^\circ C; \\ Fi_z > 45, \% & T_z \in [18; 20], ^\circ C \end{cases}$$

де T_z, T_i – задане й поточне значення температури в повітрі; Fi_z, Fi_i – задане й поточне значення вологості; G_z, G_i – задане й поточне значення концентрації кисню в повітрі; a_1, a_2 – вагові коефіцієнти.

Нечітка система управління вентиляцією складається з двох нечітких регуляторів. Перший використовується для управління швидкістю обертання вентилятора, другий – для управління кутом повороту повітряної засувки.

Для САР, відповідно до критерію якості управління на основі технології нечіткої логіки, розроблено алгоритм розрахунку керуючих впливів.

Схему формування керуючого впливу за частотою обертання двигуна вентилятора реалізовано за допомогою першого нечіткого регулятора й зображено на рис. 2. Принцип роботи другого нечіткого регулятора, який призначений для управління кутом повороту засувки, аналогічний попередньому.

Вхідними змінними для першого нечіткого регулятора є температура T , вологість Fi , вміст кисню в повітрі G . Після *першого етапу* – етапу фазифікації вхідних змінних значення параметрів стану об'єкта – управління перетворюються в лінгвістичні змінні. Кожна лінгвістична змінна характеризується набором термів, які описуються

свою функцією приналежності, що може приймати значення від 0 до 1.

Визначено, що перший нечіткий регулятор має 4 вхідні лінгвістичні змінні: ΔT (температура), ΔFi (вологість у приміщенні), ΔG (вміст кисню в повітрі), $intens$ (інтенсивність провітрювання).

Інтенсивність провітрювання задається вручну, значення вологості й вмісту кисню фіксується відповідними датчиками, значення температури виражається як різниця комфортного й поточного значення. Змінні описуються за допомогою термів (рис. 3), що можуть набувати значень \min , $potm$, \max для заданого діапазону зміни параметрів.

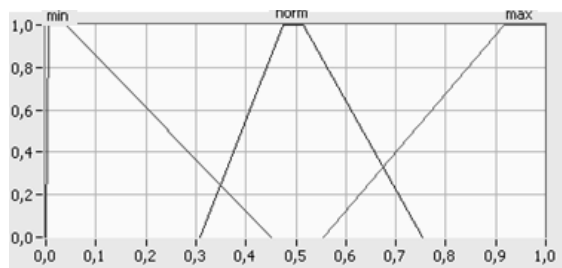
Другий нечіткий регулятор має дві вхідні лінгвістичні змінні – ККД вентиляційної системи (Δkpd) та витрати (ΔQ).

На *другому етапі* формують базу правил для кожного з нечітких регуляторів. Правила розробляються відповідно до вимог, що висуваються до даної системи.

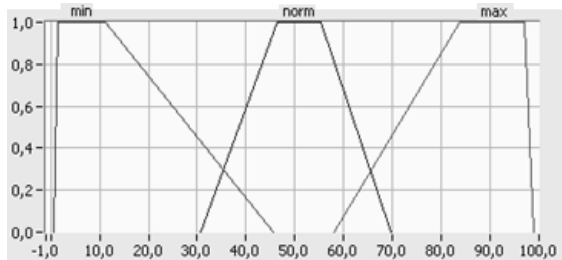
Для першого регулятора було розроблено сімдесят лінгвістичних правил відповідно до стандартних уподобань людей та СНІП 2.04.05-91 [3]. У першу чергу враховується вміст кисню в повітрі: якщо його значення менше за оптимальне, то максимально збільшується частота обертання. При відхиленні температури і вологості приміщення від комфортних значень відповідно змінюється частота. Оскільки значення температури, що подається на нечіткий регулятор, є відносним, то необхідно враховувати, що при $\Delta T = \min$ і $\Delta Fi = \min$ частота обертання повинна бути мінімальною, а при $\Delta T = \min$ і $\Delta Fi = \max$ максимальною й т.д.

Дана система передбачає також завдання режиму провітрювання ($intens$), який є відносною величиною й змінюється від 0 (мінімальне значення) до 1 (максимальне значення).

Загальний вигляд термів для змінної режиму провітрювання $intens$ та вологості Fi зображено на рис. 3.



а)



б)

Рисунок 3 – Вид термів для
а) змінної $intens$; б) змінної F_i

При максимальній інтенсивності провітрювання, що відповідає комфортному режиму, і максимальних значеннях параметрів мікроклімату частота відповідає терму f_2 . При нормальній інтенсивності провітрювання й максимальних значеннях параметрів мікроклімату частота відповідає терму f_1 . При мінімальній інтенсивності частота відповідає діапазону мінімальних значень. Для подальших розрахунків з отриманого значення частоти отримуємо значення швидкості обертання.

Для другого регулятора було розроблено 7 лінгвістичних правил відповідно до максимальної ефективності роботи системи (максимальне значення ККД). Вихідна змінна – положення засувки dR .

Експертні правила для другого нечіткого регулятора:

1. IF $\Delta kpd = \min$ AND $\Delta Q = \text{positive}$ TO $dr = \max_open$;
2. IF $\Delta kpd = \min$ AND $\Delta Q = \text{negative}$ TO $dr = \max_closed$;
3. IF $\Delta kpd = \text{norm}$ AND $\Delta Q = \text{positive}$ TO $dr = \text{open}$;
4. IF $\Delta kpd = \text{norm}$ AND $\Delta Q = \text{negative}$ TO $dr = \text{closed}$;
5. IF $\Delta kpd = \max$ AND $\Delta Q = \text{positive}$ TO $dr = \text{stop}$;
6. IF $\Delta kpd = \min$ AND $\Delta Q = \text{zero}$ TO $dr = \text{stop}$;
7. IF $\Delta kpd = \max$ AND $\Delta Q = \text{negative}$ TO $dr = \text{stop}$.

Лінгвістичні правила працюють наступним чином. Якщо (IF) виконується умова (комбінація вхідних змінних, об'єднаних логічним AND), то (TO) отримуємо вихідну змінну (або змінні).

На *третьому етапі* алгоритму виконується активізація висновків правил нечіткої логіки. На основі аналізу ступеня істинності висновків, у залежності від значень функції приналежності, обирається правило.

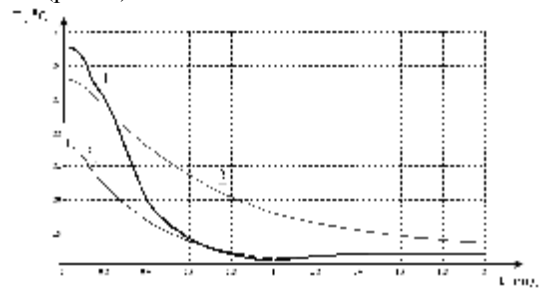
На *четвертому етапі* виконується акумуляція висновків для кожної лінгвістичної змінної. Висновки з кожного правила формуються разом для кожної лінгвістичної змінної та обробляються сумісно. Для першого регулятора отримуємо значення терму, що відповідає керуючому впливу у відповідності до спрацювання лінгвістичного

правила – \min, f_1, f_2, \max . Для другого нечіткого регулятора – $\max_closed, open, closed, stop$.

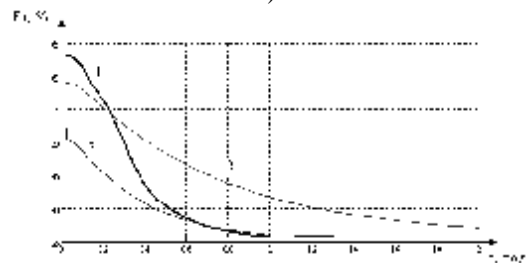
Після *п'ятого етапу* – дефазифікації, у залежності від ступеня істинності для кожного терму вихідної змінної, розраховується її числове значення й формується керуюча дія.

Таким чином, експертна система видає два керуючі сигнали v (швидкість) та ρ (кут повороту засувки).

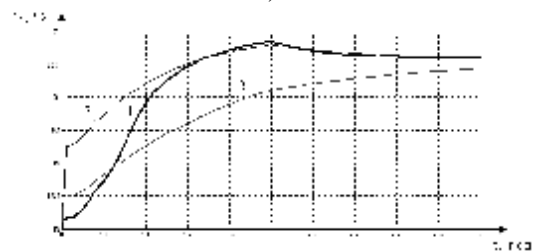
Довільно задавши швидкість та кут повороту засувки, порівнюємо отримані показники з тими, які визначила нечітка система відповідно до критерію якості (рис. 4).



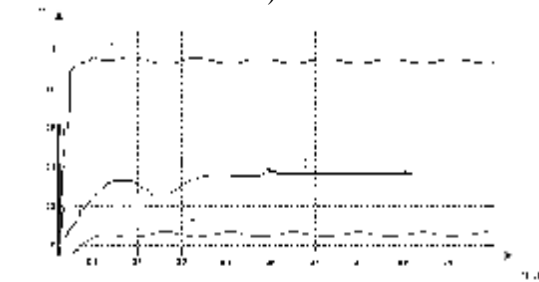
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Зміна параметрів мікроклімату приміщення а) температури $T, ^\circ\text{C}$;
б) вологості $F_i, \%$; в) вмісту кисню в повітрі $G, \%$;
г) ККД η (1 – нечітка експертна система управління;
2 – $v=0.2, \rho=0.9$; 3 – $v=0.56, \rho=0.4$)

Проведені дослідження та модельні експерименти вказують на ефективність застосування нечітких регуляторів у вентиляційній системі. Сумарний показник комфортності (I) за 0,5 годин досяг устанавленого значення 0,054 (рис. 5),

його мінімум є умовою досягнення комфортних мікрокліматичних умов у приміщенні, тобто система відповідає критерію якості управління.

Нечітка експертна система управління відповідно до вхідних сигналів і критерію якості управління визначила оптимальні значення керуючих сигналів.

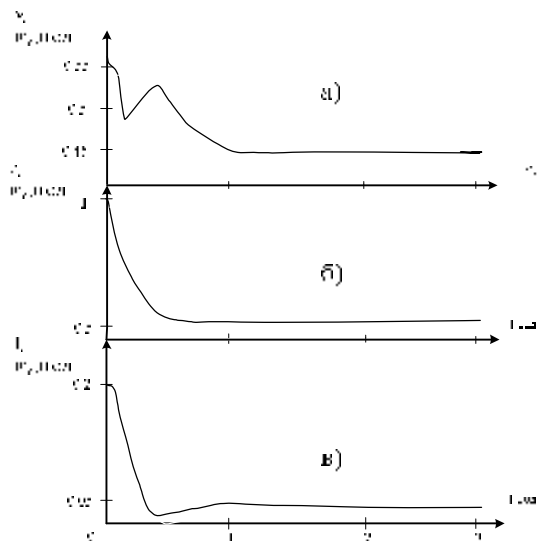


Рисунок 5 – Оптимальний закон керування ПЧ (а), засувкою (б) та сумарний показник комфортності (в)

Нечітка експертна система визначила наступні установлені оптимальні показники для швидкості (v) – 0,44; для засувки (ρ) – 0,54.

Висновки.

Запропоновано структуру системи регулювання параметрів мікроклімату, що реалізує комбіновану зміну швидкості обертання вентилятора та кута повороту повітряної засувки.

Вперше запропоновано формалізований критерій комфортності мікроклімату приміщення, який залежить від стандартних уподобань людей та параметрів величин температури, вологості та вмісту кисню в повітрі. Завданням системи регулювання є мінімізація запропонованого критерію.

Розроблено математичну модель системи регулювання, досліджено режими роботи та отримано закон керування виконавчим механізмом, що забезпечує мінімум критерію якості управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха [навчальний посібник] /Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич . – К: Аванпост-Прим, 2005. – 560 с.
2. Волков О. Д. Проектирование вентиляции промышленного здания: [навчальний посібник] / Волков О. Д. – Харків: Вища школа, 1989. – 220 с.

3. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

4. Леоненков А. В. Нечітке моделювання в середовищі MATLAB і fuzzyTECH. / Леоненков А. В. - Спб.: Бхв-петербург, 2003. – 736 с.

5. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода: [учеб. для вузов] / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 1981 – 186 с.

6. Малин К. М. Справочник сернокислотчика. Издание 2-е / К. М. Малин – М.: Химия, 1971. – 741с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

Конох И.С., ст. преп., Гулая И.С., ассист., Перекрест А.Л., к.т.н., доц, Сукач С. В., ст. преп.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

В статье представлен способ управления микроклиматом помещений с использованием нечеткого регулирования частоты вращения вентилятора и угла поворота воздушной заслонки.

Ключевые слова: параметры микроклимата помещения, вентиляционная система, нечеткое регулирование, система управления.

DEVELOPMENT AND STUDY INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM FOR ROOM'S MICROCLIMATE'S PARAMETERS

Konoh I., Sen. Lect., Gula I., assist., Perecrest A., Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Sukach S., Sen. Lect.

Kremenchuk Mykhaylo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

In this article the presents a microclimate control method with using fuzzy control frequency and angle of the air throttle valve.

Key words: parameters of microclimate, ventilation system, fuzzy control, control system.