

НЕЧІТКА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНОГО ЦЕНТРУ

У статті подано етапи розробки нечіткої експертної системи для оператора теплового пункту торгово-розважального центру. Показано принцип роботи системи повітряного опалення ТРЦ, що реалізується за допомогою комп'ютерно-інтегрованого керування зі SCADA – системою. Для ефективної роботи системи управління температурою повітря у різних зонах ТРЦ розроблено функції належності зон комфорту з погляду відвідувачів та вимог санітарних норм. Вказано, що типові регулятори стабілізації температури повітря не завжди можуть забезпечити заданий режим через вплив великої кількості неконтрольованих збурень на систему управління. У такому випадку за відсутності додаткових блоків адаптації алгоритмів керування доцільним ставати дистанційне керування оператором за допомогою мнемосхеми процесу вентиляції. І для підвищення ефективності процесу дистанційного регулювання тепловим устаткуванням запропоновано експертну систему, що реалізує алгоритм І. Мамдані, з управління клапанами витрати теплоносія. Контролер отримує інформацію від датчиків температури зовнішнього повітря та повітря в зоні контролю ТРЦ. Після обробки сигналів від датчиків контролер передає інформацію на комп'ютер з експертною системою. Залежно від значень температури та пори року програма розраховує оптимальне положення клапана (у відсотках ходу) витрати теплоносія та рекомендує встановити його оператору.

Також, показано, що у процесі розробки нечіткої експертної системи рекомендується обирати гаусівський тип функцій належності; мінімальна кількість терм – множин – три функції належності; вагові коефіцієнти кожного правила в базі знань однакові та дорівнюють 100; метод дефазифікації – метод центру тяжіння. Вказано, що введення експертних порад операторам також може призвести до зниження часу реакції на позаштатні ситуації до 90% підвищення надійності роботи обладнання загалом.

Ключові слова: Нечітка експертна система, температура повітря, повітряне опалювання, оператор

Вступ. Мікроклімат у торгово – розважальному центрі (ТРЦ) має бути таким, щоб відвідувачеві було комфортно. На практиці існує пряма залежність між комфортністю торгового центру та купівельною активністю його відвідувачів. Чим комфортніше покупцеві в торговому центрі, тим довше він перебуватиме в ньому і тим частіше він його відвідуватиме. Тому одним із важливих факторів, що впливають на ефективність діяльності торгово-розважального центру, є його оснащення сучасними системами вентиляції та кондиціонування, що створюють комфортний мікроклімат в окремих зонах та у приміщеннях ТРЦ [1].

У системах повітряного опалення великих промислових будівель, фітнес та торгових центрів широко поширене використання групи припливних систем, що працюють у режимі підтримки температури повітря, яке надходить до приміщення. Контроль температури повітря у приміщеннях торгового центру здійснюється, як правило, за допомогою системи автоматизованого керування (САК). При цьому головним елементом такої САК є регулятор температури, що реалізує, як правило, типовий (ПД) закон управління. Як правило, типовий регулятор отримує інформацію від групи датчиків температури повітря встановлених у приміщеннях (термометрів опору) і у разі відхилення температури в зоні контролю від заданої, виробляє керуючий вплив на клапан що регулює витрати теплоносія. Відхилення температури від заданої може становити кілька градусів.

Відповідно до планування та призначення приміщень, параметри повітря в приміщеннях ТЦ відрізняються, також відрізняються і системи підтримки мікроклімату в них. Кліматичне обладнання може керуватися за допомогою індивідуального пульта управління, на якому, залежно від сезону, виставляється температура повітря, швидкість вентилятора, температура повітря припливу та інші параметри.

Крім безпосереднього управління кожним окремим обладнанням, що формує клімат в окремих зонах торгового центру та його приміщеннях за допомогою індивідуального пульта управління, необхідно передбачити єдину комплексну систему управління для вентиляційних установок, обладнання кондиціонування повітря, терморегуляторів, теплої підлоги, котлів та кімнатних радіаторів. Такий комплексний підхід до інженерних систем гарантує цілісність та узгодженість роботи цих систем [2].

Для налаштування синхронної роботи систем мікроклімату в торгових центрах необхідно передбачити системи автоматизації обладнання опалення, вентиляції та кондиціонування та їх диспетчеризації. Зміна температури припливу на припливно-витяжних системах в залежності від сезону та оптимізація роботи холодильного обладнання в цьому випадку здійснюється за допомогою центрального контролера (регулятора).

Можна відзначити, що на САК температури впливає велика кількість неконтрольованих збурень, таких як: зміни температури та вологості зовнішнього повітря, швидкість вітру, сонячна активність, кількість відвідувачів, наявність продуктивних магазинів і т.д. У такому разі, у різних приміщеннях торгового центру відхилення температури від заданої (оптимальних умов мікроклімату в приміщеннях торгового центру приймається температура $+23 \pm 2^{\circ}\text{C}$) [3]) може суттєво відхилитися. І якщо типовий регулятор не оснащений додатковим алгоритмом адаптивного керування, то функцію корекції температури здійснює оператор диспетчерського пункту за допомогою комп'ютерного керування, реалізованого на мнемосхемі SCADA – системи [4]. І для допомоги оператору в реалізації оптимального впливу, що управляє технічним обладнанням системи клімат-контролю, і зниження помилкових дій при дистанційному куруванні і встановленню заданих температур в приміщеннях ТРЦ, доцільно запропонувати експертну систему.

Аналіз останніх досліджень та постановка задач. Відомо, що експертна система (ЕС) – це комп'ютерна система, архітектура якої дозволяє автоматизувати достовірні міркування людини – експерта у конкретній предметній галузі [5]. Існує безліч наукових напрямів у галузі розробки ЕС [6-9]. При цьому для завдань управління технічними об'єктами найбільш прийнятним, з погляду авторів, за ознакою «спосіб уявлення знань» є продукційні системи, у яких знання представлені у вигляді набору правил виду: ЯКЩО умови ТО дії.

При цьому добре відомо, що досвідченому експерту – оператору зручно передавати свої знання чи ділитися рекомендаціями у формі словесних інструкцій (лінгвістичних змінних). Таким чином, для реалізації досвіду оператора диспетчерського пункту ТРЦ застосовується підхід теорії нечіткої логіки, вперше запропонований Л. Заде [10]. Нечітка експертна система буде використовувати подання знань у вигляді лінгвістичних змінних і нечітких правил, а також алгоритм нечіткого висновку. При цьому базовими компонентами архітектури системи нечіткого управління є: блоки фазифікації та дефазифікації, база правил та механізм (алгоритм) нечіткого виведення І. Мамдані [9].

Опис технологічного процесу. Спрощена функціональна схема системи керуванню групою припливних вентиляційних камер представлена на рис. 1. У цій схемі група повітряпідігрівальних установок припливних камер ПК1-ПКп, з'єднаних паралельно по теплоносію, пов'язана з вузлом підготовки теплоносія, що складається з насосів Н1 та Н2 (один резервний), зворотного клапана К1, регулюючого клапана К2 та регулятора тиску Р. На зворотному трубопроводі перед вузлом підготовки встановлено реле протоки теплоносія РПТ.

Виконавчий механізм клапана К2 електрично пов'язаний з регулятором ТС, на входи якого приєднані датчики температури D_1 (ТЕ) у приміщеннях ТРЦ та датчик температури зовнішнього повітря D_n (ТЕ). Розроблена система забезпечує керування групою припливних камер у ручному та автоматичному режимах. У ручному режимі управління система дозволяє

запустити та зупинити двигун вентилятора будь-якої припливної камери ПК1-ПКп, запустити у відповідному напрямку та зупинити виконавчий механізм регулюючого клапана К2; запустити у відповідному напрямку та зупинити виконавчі механізми будь-якого повітряного клапана. У режимі автоматичного керування система дозволяє здійснити програмний запуск та вимкнення припливних камер ПК1-ПК, автоматична підтримка заданої температури повітря на виході з припливних камер; контроль температури теплоносія на виході з калорифера, температури та швидкості повітря на виході із припливних камер із сигналізацією аварійного режиму.

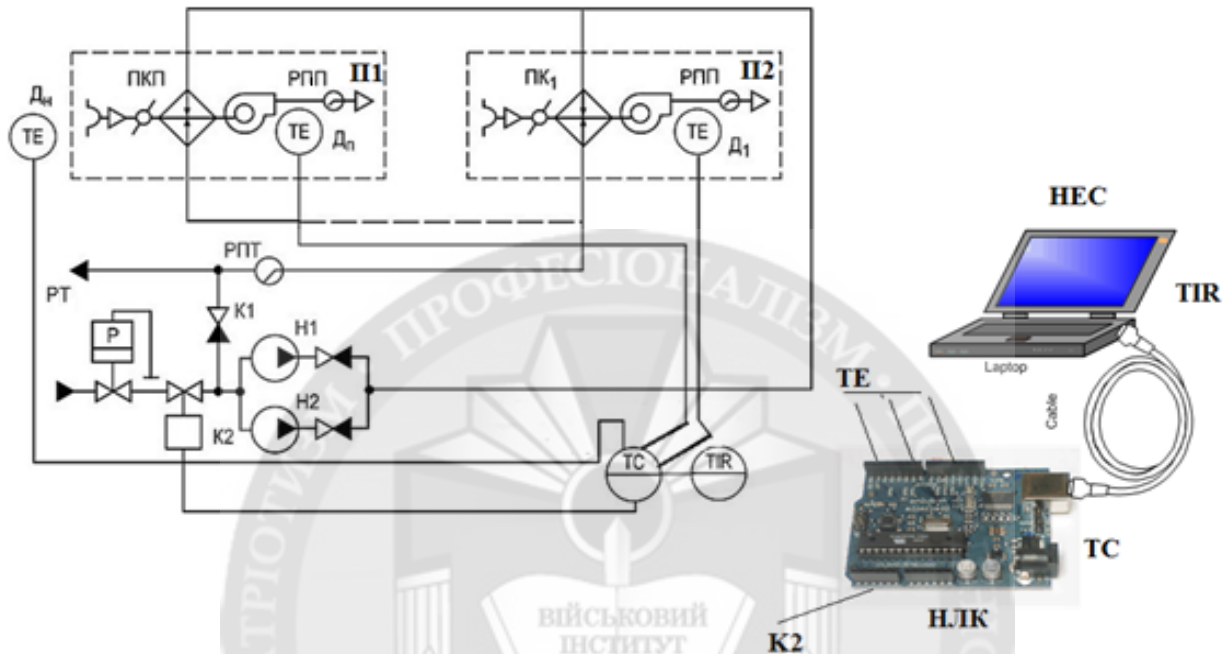


Рисунок 1 – Функціональна схема керування групою припливних камер:

ТЕ – датчики температури; НЛК (ТС) – логічний контролер; HEC – експерта система; TIR – комп’ютер з SCADA

Увімкнення системи та вибір режиму «Ручний-Автомат» здійснюється з дистанційного щита або з комп’ютера з SCADA - системою. Після 5-хвилинного прогрівання калориферів автоматично вмикаються електродвигуни вентиляторів та відкриваються повітряні приймальні клапани. Після повного відкриття спрацьовують кінцеві мікроперемикачі, підключаючи до роботи ланцюга сигналізації та контролю припливних камер. За відсутності або зниження витрати теплоносія спрацьовує реле РПТ і знеструмлює проміжне реле, яке, у свою чергу, розмикає контакти для живлення магнітних пускачів вентиляторів.

Вимкнення системи автоматичного керування здійснюється також із дистанційного щита або комп’ютера. При цьому знеструмлюються магнітні пускачі насоса та електродвигунів вентиляторів, закриваються повітряні приймальні клапани та клапан К2 на теплоносії.

Розробка функцій належності зон комфорту ТРЦ. Змоделюємо систему керування повітряним опаленням приміщення з погляду оператора при роботі у режимі дистанційного керування тепловим пунктом ТРЦ. Як вхідні дані системи виступають значення: температура повітря зовнішнього (навколишнього) середовища та температура повітря приміщення (зал ТРЦ). Як вихідні параметри системи буде відсоток відкриття вентиля (клапана К2) приладу обігрівача для регулювання витрати теплоносія (див. рис.1).

Для відповідності температурним параметрам відповідно до санітарних норм та приміщень різного призначення в ТРЦ використовувався апарат нечітких множин [10]. Рівень прийнятого комфорту (діапазон 20-25.5°C) представлений у вигляді функції належності (ФП) за вимогами нормативних документів та побажань відвідувачів ТРЦ (рис.2). Для рівня

підвищеного комфорту (ресторани, кінотеатри і т.д.) та прийнятної (спортивний та ігровий зали) над значеннями функції належності проведено логічні операції концентрації (зведення у квадрат значень ступенів істинності ФП звичайного комфорту (див. рис.2)) та розмивання (вилучення квадратного кореня значень ступенем істинності ФП).

Для отримання ФП написано програмний продукт мовою програмування C# в середовищі програмування Visual Studio 2022 використовуючи шаблон Додаток Windows Forms (.NET Framework).

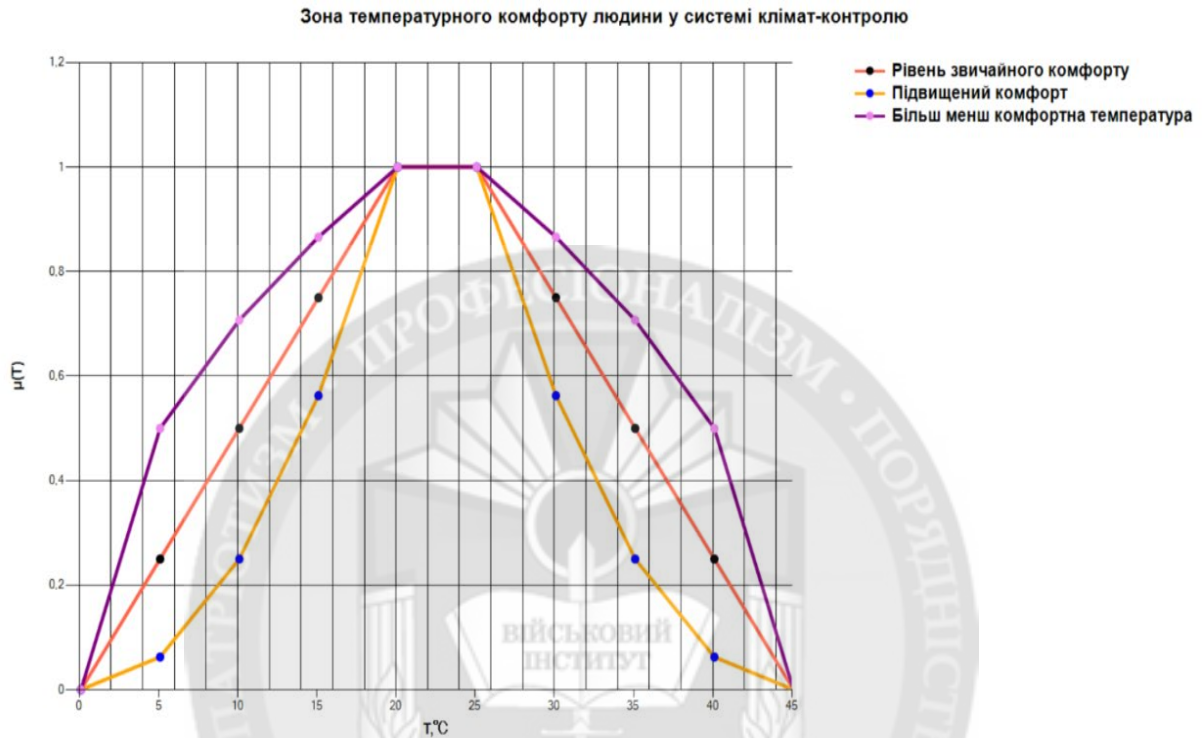


Рисунок 2 – Функції належності температури повітря в приміщеннях ТРЦ

Можна бачити (див.рис.2), що перший графік жовтого кольору «рівень підвищеного комфорту» визначає найкращу температуру для зон кафе та ресторанів. Другий графік червоного кольору - «рівень звичайного комфорту» виділяє більш виразно прийнятну температуру для зон магазинів. Третій графік фіолетового кольору «більш-менш комфортна температура» виділяє температуру для зон заняття спортом. Це функції можливо використовувати для подальший розробки нечітких експертних систем управління температурою повітря по зонах ТРЦ.

Розробка нечіткої експертної системи (НЕС). Розробимо програму для нечіткої системи порад оператору системою повітряного опалення ТРЦ. Розробка НЕС здійснена у програмному середовищі Fuzzy TECH [11].

Хід етапів створення НЕС у програмі Fuzzy TECH:

1) Спочатку розробляється база знань або правил по ручному куруванню обладнанням вентиляції. На погляд експерта – оператора база знань має наступний вид:

Опишемо всі експертно-створені правила у вигляді наступних виразів:

Правило 1. ЯКЩО "температура повітря в приміщенні низька" І "температура повітря зовні низька", ТО "становище вентиля відкрито високе".

Правило 2. ЯКЩО "температура повітря в приміщенні низька" І "температура повітря зовні середня", ТО "становище вентиля відкрито високе".

Правило 3. ЯКЩО "температура повітря в приміщенні низька" І "температура повітря зовні висока", ТО "становище вентиля середнє".

Правило 4. Якщо «температура повітря в приміщенні середня» та «температура повітря зовні низька», то «становище вентиля середнє».

Правило 5. ЯКЩО «температура повітря в приміщенні середня» та «температура повітря зовні середня», ТО «становище вентиля середнє».

Правило 6. ЯКЩО «температура повітря в приміщенні середня» І «температура повітря зовні висока», ТО «положення вентиля низьке».

Правило 7. Якщо «температура повітря в приміщенні висока» та «температура повітря зовні низька», то «становище вентиля низьке».

Правило 8. Якщо «температура повітря в приміщенні висока» та «температура повітря зовні середня», то «становище вентиля низьке».

Правило 9. ЯКЩО «температура повітря у приміщенні висока» І «температура повітря зовні висока», ТО «положення вентиля низьке».

Другий етап.

2) Створимо вищеописані параметри (змінні) системи та задамо діапазони вимірювань даних для вхідних та вихідних змінних. А також скоригуємо функції належності власності цих змінних.

Для вхідних лінгвістичних змінних (рис.3):

1) Лінгвістична змінна "Air_Temperature_Inside":

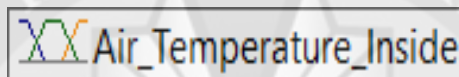


Рисунок 3 – Змінна температура повітря в середині приміщення у програмі Fuzzy TECH

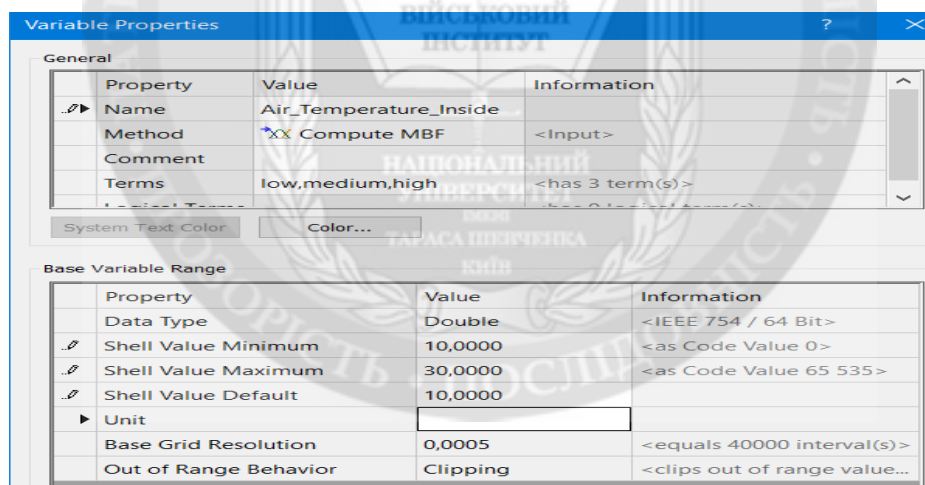


Рисунок 4 – Налаштування параметрів змінної температури повітря в середині приміщення ТРЦ

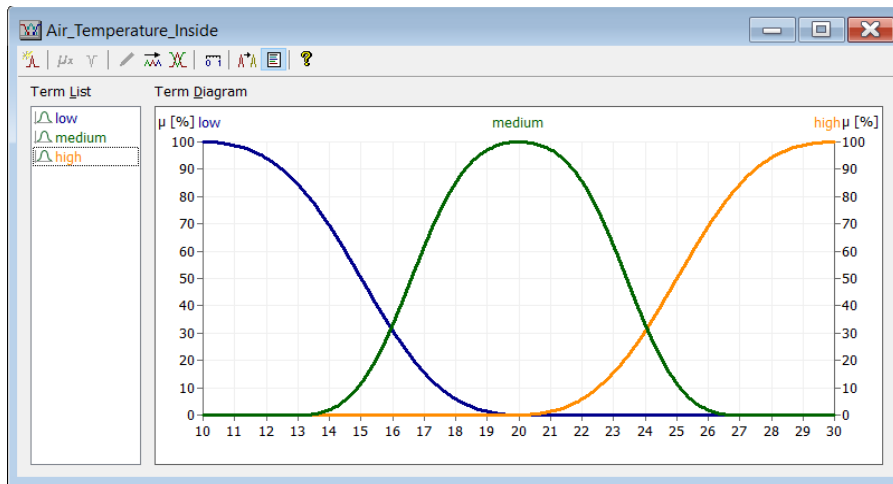


Рисунок 5 – Функції належності змінної температури повітря усередині (Мала, Середня, Висока) приміщення та змінна "Air_Temperature_Outside":


 Air_Temperature_Outsi...

Рисунок 6 – Змінна температура температури зовнішнього повітря програмі Fuzzy TECH

Variable Properties			
General			
Property	Value	Information	
Name	Air_Temperature_Outside		
Method	*XX Compute MBF	<Input>	
Comment			
Terms	low,medium,high	<has 3 term(s)>	
Tested Terms			
System Text Color Color...			
Base Variable Range			
Property	Value	Information	
Data Type	Double	<IEEE 754 / 64 Bit>	
Shell Value Minimum	-15,0000	<as Code Value 0>	
Shell Value Maximum	15,0000	<as Code Value 65 535>	
Shell Value Default	0,0000		
Unit			
Base Grid Resolution	0,0005	<equals 60000 interval(s)>	
Out of Range Behavior	Clipping	<clips out of range value...>	

Рисунок 7 – Налаштування параметрів змінної температури зовнішнього повітря

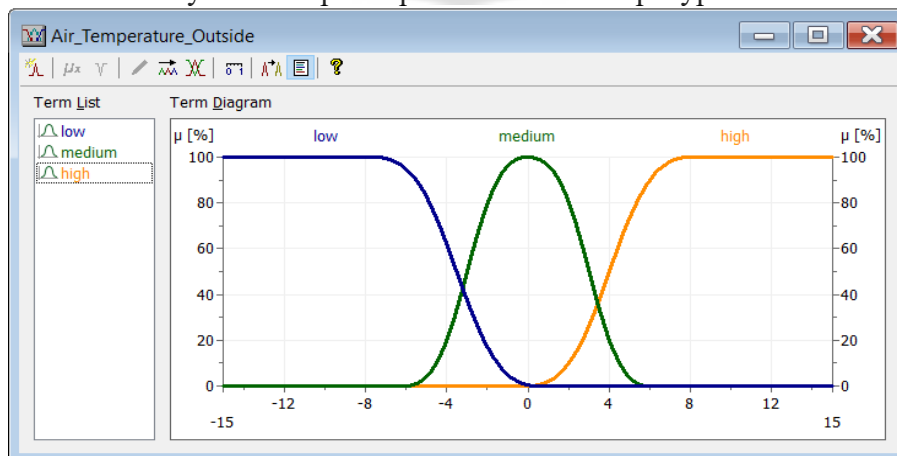


Рисунок 8 – Функції належності змінної температури зовнішнього повітря (Мала, Середня, Висока)

Для вихідних змінних:
 Змінна "Heater_Valve_Position":

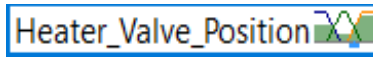


Рисунок 9 – Змінна положення вентилля обігрівача у програми Fuzzy TECH

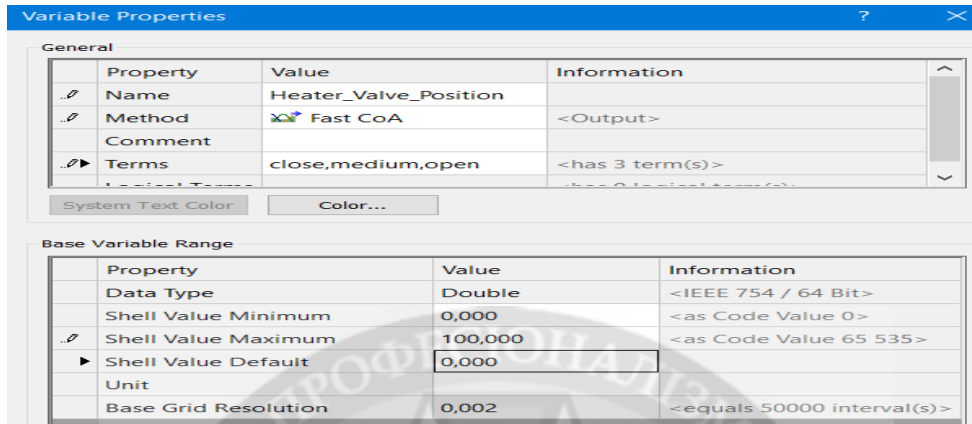


Рисунок 10 – Налаштування параметрів змінної положення вентилля обігрівача

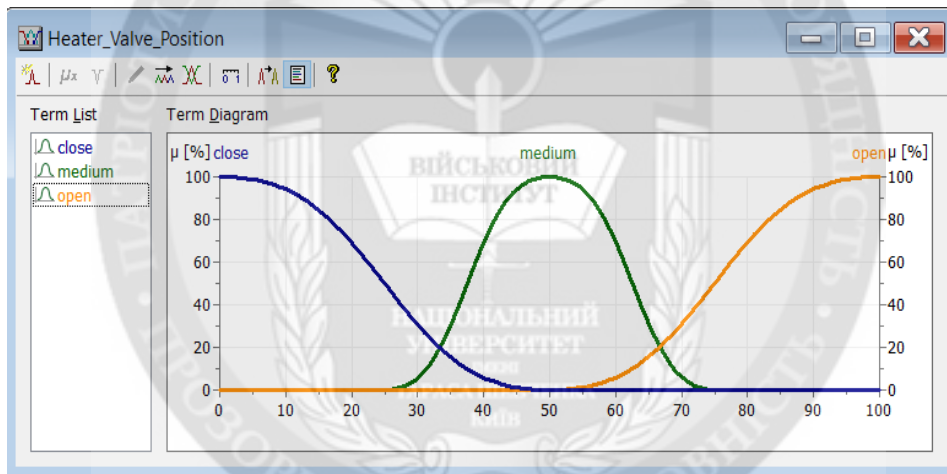


Рисунок 11 – Функції належності змінної положення вентилля обігрівача (Мале, Середнє, Високе)

Наступним кроком, коли всі змінні визначені та налаштовані, створимо базу правил, на основі якої буде працювати наша нечітка система:

L1	RB1	B1
Air_Temperature_Inside	Heater_Valve_Position	
Air_Temperature_Outside		
Min	9	Max

Рисунок 12 – Графічний елемент основи правил на принциповій схемі

	Na...	If	And	Operators	Then	Wi...	Co...	Audit	GUID
	B1 RB1			Min / Max				2023-05-15 13:04:35 Vlad	161CD9...
	B1.G1	Air_Temperature_Inside	Air_Temperature_Outside		Heater_Valve_Position	DoS		2023-05-15 13:04:35 Vlad	D5E91E...
	B1.G1.R1	Air_Temperature_Inside.Low	Air_Temperature_Outside.Low	=>	Heater_Valve_Position.open	100		2023-05-15 12:47:55 Vlad	878104...
	B1.G1.R2	Air_Temperature_Inside.Low	Air_Temperature_Outside.medium	=>	Heater_Valve_Position.open	100		2023-05-15 13:03:14 Vlad	EC05D1...
	B1.G1.R3	Air_Temperature_Inside.Low	Air_Temperature_Outside.high	=>	Heater_Valve_Position.medium	100		2023-05-15 13:03:25 Vlad	09DBA1...
	B1.G1.R4	Air_Temperature_Inside.medium	Air_Temperature_Outside.Low	=>	Heater_Valve_Position.medium	100		2023-05-15 13:03:41 Vlad	7306F5...
	B1.G1.R5	Air_Temperature_Inside.medium	Air_Temperature_Outside.medium	=>	Heater_Valve_Position.medium	100		2023-05-15 13:03:59 Vlad	FF2212...
	B1.G1.R6	Air_Temperature_Inside.medium	Air_Temperature_Outside.high	=>	Heater_Valve_Position.close	100		2023-05-15 13:04:07 Vlad	1B6550...
	B1.G1.R7	Air_Temperature_Inside.high	Air_Temperature_Outside.Low	=>	Heater_Valve_Position.close	100		2023-05-15 13:04:16 Vlad	BE8E50...
	B1.G1.R8	Air_Temperature_Inside.high	Air_Temperature_Outside.medium	=>	Heater_Valve_Position.close	100		2023-05-15 13:04:27 Vlad	39C5BE...
	B1.G1.R9	Air_Temperature_Inside.high	Air_Temperature_Outside.high	=>	Heater_Valve_Position.close	100		2023-05-15 13:04:35 Vlad	6B14D9...

Рисунок 13 – Безпосередньо сама база правил системи у вигляді логічних виразів

4) Наступним етапом побудови НЕС є загальний вигляд розробленої системи та структурні зв'язки її елементів:

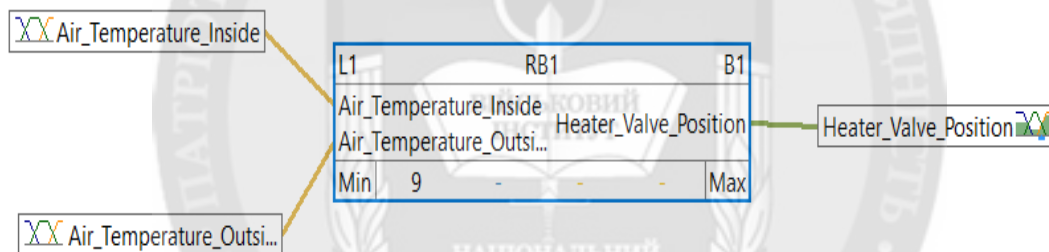


Рисунок 14 – Структурна схема нечіткої експертної системи (НЕС) у програми Fuzzy TECH

Видно три змінні і база правил які пов'язані між собою.

5) Запустимо програму і проаналізуємо отримані результати системи при деяких довільних заданих значеннях.

Нехай поставимо змінній температури повітря зовнішнього середовища та змінній температури повітря всередині приміщення ТРЦ значення: 7 °C і 25 °C відповідно. Тоді система порекомендує оператору встановити вентиль обігрівального пристрою на зразкове значення ~13 відсотків від максимального робочого ходу:

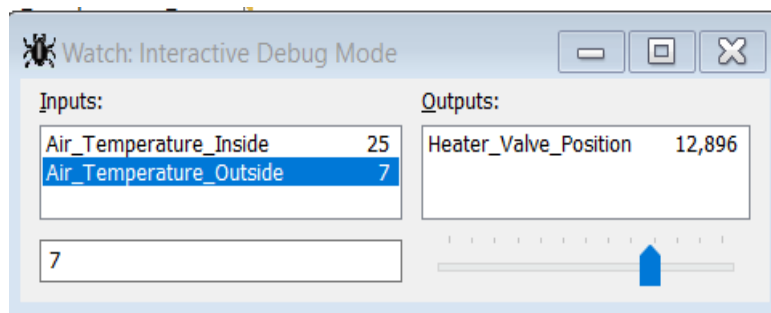


Рисунок 15 – Результати рекомендації НЕС на основі перших вхідних даних

Змінимо значення вхідних даних на значення 15 °С та -11 °С (відповідно температура повітря всередині приміщення та температура повітря зовні) та подивимося результати нечіткої системи:

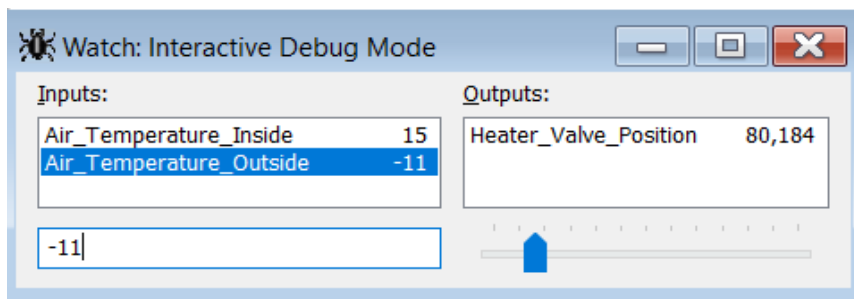


Рисунок 16 – Результати рекомендації системи з урахуванням других вхідних даних

Додатково, для наочності, продемонструємо графічну інтерпретацію залежності у вигляді тривимірного графіка:

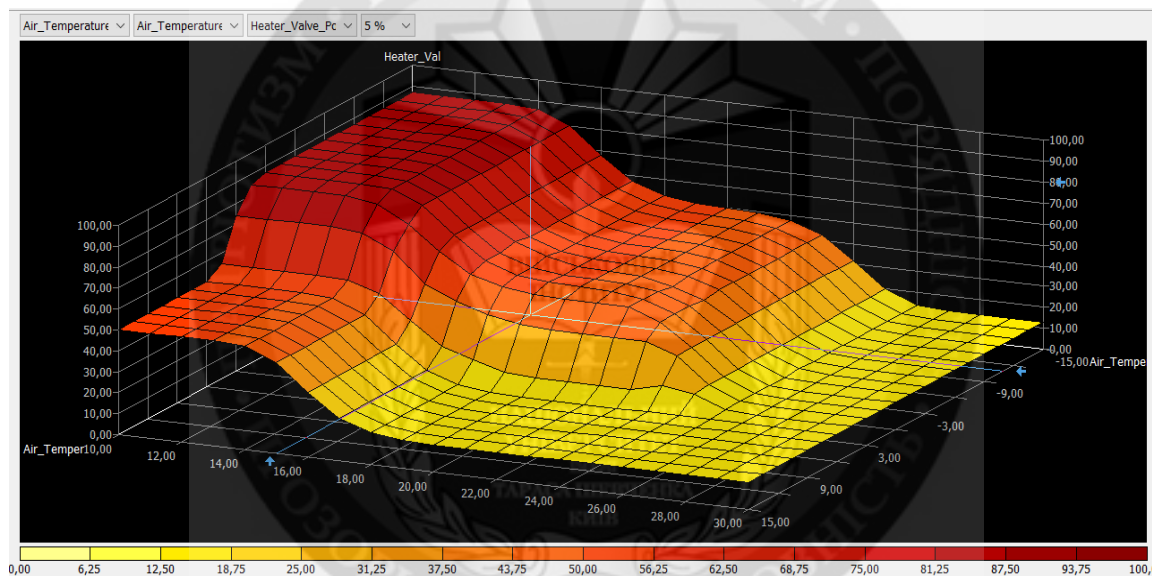


Рисунок 17 – Графічна тривимірна інтерпретація

До функцій комп'ютерно-інтегрованої САК температурою повітря ТРЦ також можна віднести:

- безперервний моніторинг стану системи вентиляції;
- контроль та управління системою вентиляції;
- безперервне відображення даних;
- оповіщення про аварії, нештатні ситуації;
- архівування даних у СУБД;
- надання даних користувачам через Інтернет.
- робота разом з системою пожежогасіння.

Після отримання поради від НЕС, оператор ТРЦ за допомогою мнемосхеми SCADA – системи (рис.18) змінює положення клапана гарячій води до 82,5 %, з метою збільшення температури повітря в спортивному залі до 20 °С.

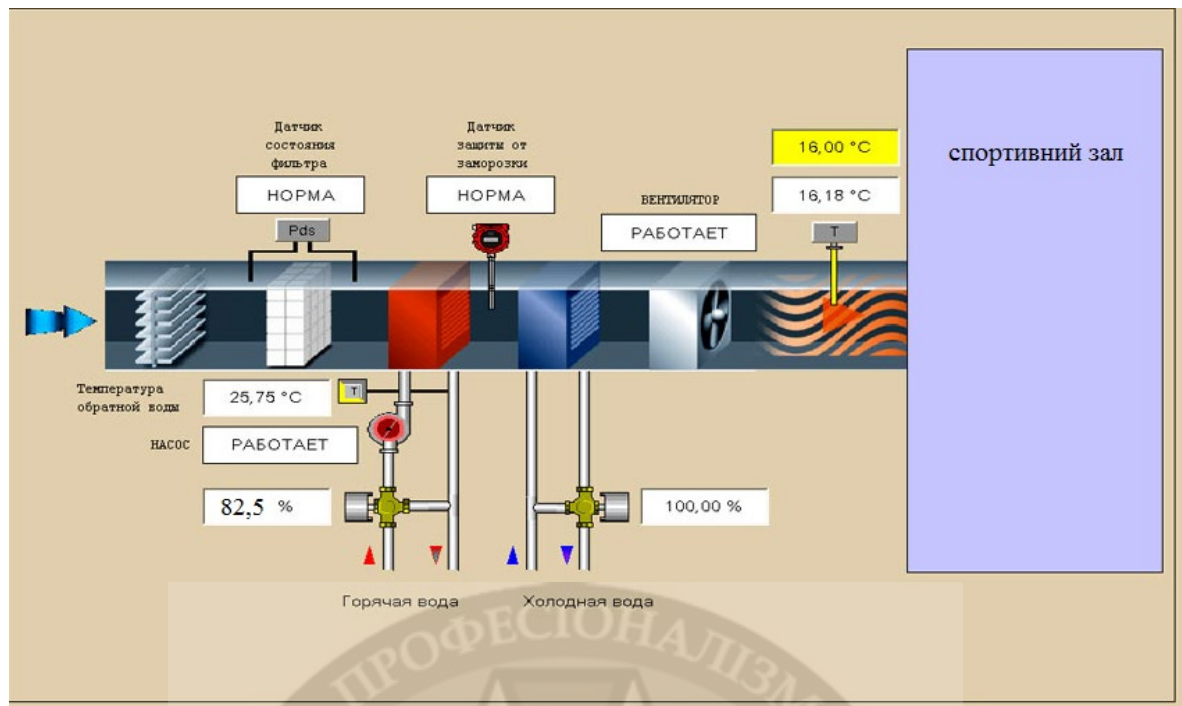


Рисунок 18 – Мнемосхема процесу повітряного опалення спортивного залу фітнес-клуба ТРЦ

Висновки. У роботі було побудовано нечітку експертну систему клімат-контролю для порад оператору ТРЦ. У НЕС використовувалось два вхідних параметра: температура зовнішнього середовища та температура внутрішнього середовища, та один вихідний – положення клапана.

Як можна бачити за результатами імітаційного моделювання, НЕС працює коректно та виконує поставлені завдання по зміні положення регулюючого клапана. Вирішена задача, полягає в підвищенні ефективності засобів управління системою припливної вентиляції та підтримки оптимальній температури повітря в різних зонах ТРЦ згідно рекомендації санітарних стандартів та вподобань відвідувачів.

В процесі розробки НЕС встановлено, що для отримання правильних рішень по вибору керуючого впливу рекомендується:

- використовувати алгоритм І. Мамдані;
- у процесі фазифікації вхідних і вихідних змінних - використовувати гаусівський тип функцій власності;
- мінімальна кількість терм – множин – три функції належності;
- вагові коефіцієнти кожного правила в базі знань однакові та дорівнюють 100;
- метод дефазифікації – метод центру тяжкості.

По даним компаній розробників САУ систем клімат – контролю [12], впровадження SCADA – систем з функцію експертних порад операторам також може привести до зниження часу реакції на позаштатні ситуації до 90%; зниження збитків від позаштатних ситуацій на 50%; зниження зносу обладнання на 15% та підвищення рівня комфорту у приміщеннях ТРЦ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Опалення торгових центрів [Електронний ресурс] Климатические системы. Режим доступу до ресурсу: <https://ovk-group.com/tipovye-proekty/torgovye-centry/otoplenie/>.
2. Соловей Д. Повітряне опалення: принцип роботи, плюси та мінуси системи [Електронний ресурс] 2023. Режим доступу до ресурсу: <https://alterair.ua/stati/vozdushnoe-otoplenie-printsip-primenenie/>.

3. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [Електронний ресурс] Документ va042282-99, 1999. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>.

4. Швидкість реакції оператора і підвищення ефективності з iFIX [Електронний ресурс] DIGITAP, 2023. Режим доступу до ресурсу: <https://digitap.com.ua/company-products/hmi-scada-ifix/>.

5. Кацадзе Т. Л. Експертні системи прийняття рішень в енергетиці: навч. посіб. / Т. Л. Кацадзе. К.: ЛОГОС, 2014. 173 с.

6. Bolloju, N. et al. A knowledge-based system for improving the consistency between object models and use case narratives / Expert Systems with Applications. 2019. vol. 39, pp. 9398-9410.

7. Tripathi, K. A Review on Knowledge-based Expert System: Concept and Architecture / Artificial Intelligence Technique. 2017.

8. Shiue, W. et al. A frame knowledge system for managing financial decision knowledge / Expert Systems with Applications. 2020. vol. 35, pp. 1068-1079.

9. Mamdani, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant / Proc. Inst. Elect. Eng. Contr. Sci. 1974. vol. 121. pp. 1585 – 1588.

10. Zadeh, L. A. Fuzzy sets / Information and Control. 1965. №8. pp. 338 – 353.

11. fuzzyTECH [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу до ресурсу: <https://www.fuzzytech.com>.

12. Автоматизированная система управления вентиляцией [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://datasolution.ru/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-ventilyatsiej>.

REFERENCES:

1. “Opalennya torhovykh tsestriv” [Heating of shopping centers] Climate systems. www.ovk-group.com/tipovye-proekty/torgovye-centry/otoplenie/.

2. Solovei, D. (2023), “Povityryane opalennya: pryntsyp roboty, plyusy ta minusy systemy” [Air heating: principle of operation, pros and cons of the system], www.alterair.ua/stati/vozdushnoe-otoplenie-printsip-primenenie/.

3. Sanitarni normy mikroklimatu vyrobnychych prymishchen' DSN 3.3.6.042-99 9. (1999), [Sanitary norms of the microclimate of industrial premises DSN 3.3.6.042-99] Document va042282-99, www.zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text.

4. Shvydkist' reaktsiyi operatora i pidvyshchennya efektyvnosti z iFIX. (2023), [Speed of operator response and increased efficiency with iFIX] www.digitap.com.ua/company-products/hmi-scada-ifix/.

5. Katsadze, T. L. (2014), “Ekspertni systemy pryynyattya rishen' v enerhetytsi: navchal'nyy posibnyk” [Expert decision-making systems in energy: a study guide], К.: LOGOS,. 173 p.

6. Bolloju, N. et al. (2019) “A knowledge-based system for improving the consistency between object models and use case narratives” Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 9398-9410.

7. Tripathi, K. A. (2017) “Review on Knowledge-based Expert System: Concept and Architecture” Artificial Intelligence Technique.

8. Shiue, W. et al. (2020) “A frame knowledge system for managing financial decision knowledge” Expert Systems with Applications, vol. 35, pp. 1068-1079.

9. Mamdani, E. H. (1974) “Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant” Proc. Inst. Elect. Eng. Contr. Sci., vol. 121. pp. 1585 – 1588.

10. Zadeh, L. A. (1965) “Fuzzy sets” Information and Control, №8. pp. 338 – 353.

11. fuzzyTECH (2023) www.fuzzytech.com.

12. “Avtomatizirovannaya sistema upravleniya ventilyatsiyey” [Automated ventilation control system] www.datasolution.ru/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-ventilyatsiej

FUZZY EXPERT AIR TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN SHOPPING AND ENTERTAINMENT CENTER PREMISES

Abstract The article presents the stages of developing a fuzzy expert system for the operator of a heating point of a shopping and entertainment center. The principle of operation of the air heating system of the mall is shown, implemented using computer-integrated control with a SCADA system. For the effective operation of the air temperature control system in different areas of the mall, functions for belonging to comfort zones have been developed in terms of visitors and the requirements of sanitary standards. It is indicated that typical air temperature stabilization controllers cannot always provide the desired mode due to the influence of a large number of uncontrolled disturbances on the control system. In this case, in the absence of additional blocks for adapting control algorithms, it becomes expedient to remotely control the operator using a mnemonic diagram of the ventilation process. And to improve the efficiency of the process of remote control of thermal equipment, an expert system was proposed that implements the algorithm of I. Mamdani, to control the coolant flow valves. The controller receives information from the outdoor air and air temperature sensors in the control area of the mall. After processing the signals from the sensors, the controller transmits information to a computer with an expert system. Depending on the temperature and season of the year, the program calculates the optimal position of the valve (in percentage of stroke) for the flow rate of the coolant and recommends installing it to the operator.

Also, it is shown that in the process of developing a fuzzy expert system, it is recommended to choose the Gaussian type of membership functions; minimal number of terms - sets - three functions of dependency; weight coefficient of each rule in the knowledge base is the same and equal to 100; the method of defasification is the method of the center of gravity. It is indicated that the introduction of expert advice to operators can also lead to a reduction in the response time to emergency situations up to 90% increase in the reliability of the equipment as a whole..

Keywords Fuzzy expert system, air temperature, air heating, operator