

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему «Удосконалення системи автоматичного керування мікрокліматом
фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини»

Виконав: студент 2 курсу, групи 2мМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Абакумов О.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Антоненко О.С.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2026 рік

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі на тему «Удосконалення системи автоматичного керування мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини» розглянуто питання підвищення ефективності та точності контролю параметрів мікроклімату у фармацевтичних складських приміщеннях. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення нормативних умов зберігання лікарських препаратів при одночасному зниженні енергоспоживання технологічного обладнання.

У роботі проведено аналіз існуючих систем автоматичного контролю та керування мікрокліматом, встановлено їх недоліки, зокрема низьку точність вимірювання вологості та температури, що призводить до перевитрати енергії. Для вирішення виявлених проблем розроблено інтелектуальну систему автоматичного контролю, яка базується на використанні технологій нечіткої логіки та сучасних комп'ютерних засобів обробки інформації.

Створено математичні моделі теплообмінних процесів з урахуванням просторово розподілених параметрів, а також методику визначення оптимальної кількості й розташування датчиків вологості та температури. Запропоновано метод ідентифікації залежності вихідного сигналу системи контролю від параметрів повітряного середовища на основі нечіткого логічного виводу, що дає змогу компенсувати вплив температури на результати вимірювань.

Розроблено інтелектуальний нечіткий контролер з адаптивними властивостями, функціональну схему системи керування та алгоритм її роботи. Реалізацію системи виконано у середовищі Matlab з використанням моделей Мамдані та Сугено, а також програмного SCADA-пакета Labtech Control для візуалізації та моніторингу процесів у реальному часі. Експериментальні дослідження підтвердили підвищення точності контролю параметрів мікроклімату та зниження енергоємності процесу.

Розроблена система може бути впроваджена у фармацевтичних, харчових та біотехнологічних підприємствах, де необхідне стабільне підтримання параметрів повітряного середовища.

Ключові слова: автоматичне керування, мікроклімат, фармацевтичний склад, нечітка логіка, Matlab, SCADA, інтелектуальна система, температура, вологість, енергоефективність.

ABSTRACT

The master's thesis "*Improvement of the Automatic Microclimate Control System of the Pharmaceutical Warehouse of LLC 'Liky Poltavshchyny'*" addresses the problem of enhancing the efficiency and accuracy of microclimate parameter control in pharmaceutical storage facilities. The relevance of the research is determined by the need to maintain regulatory storage conditions for medicinal products while reducing the energy consumption of technological equipment.

The study includes an analysis of existing automatic control systems for temperature and humidity regulation and identifies their shortcomings, particularly the insufficient measurement accuracy that leads to energy overuse. To overcome these limitations, an intelligent automatic control system based on fuzzy logic technologies and modern computer tools for data processing and decision-making has been developed.

Mathematical models of heat exchange processes with spatially distributed parameters have been created, as well as a method for determining the optimal number and placement of temperature and humidity sensors. A method for identifying the relationship between the output signal of the control system and the air parameters using fuzzy logic inference is proposed, allowing temperature influence compensation and increasing humidity measurement accuracy.

An adaptive fuzzy logic controller, functional control scheme, and operating algorithm have been developed. The system implementation was carried out in the Matlab environment using Mamdani and Sugeno models, and the Labtech Control SCADA package was applied for real-time visualization and process monitoring. Experimental results confirmed improved accuracy of microclimate parameter control and reduced energy consumption.

The developed system can be applied in pharmaceutical, food, and biotechnological enterprises that require stable air environment parameters.

Keywords: automatic control, microclimate, pharmaceutical warehouse, fuzzy logic, Matlab, SCADA, intelligent system, temperature, humidity, energy efficiency.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки


Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Рівень вищої освіти Магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій


О.В. Шефер
“ 01 ” грудня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Абакумову Олександрю Анатолійовичу

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення системи автоматичного керування мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини
керівник проекту (роботи) Кожушко Григорій Мефодійович, д.т.н., професор
затверджена наказом вищого навчального закладу від “03” 09 2025 року
№ 1025/р,а
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 22.12.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Регульовані параметри в складському приміщенні: температура 18-20 °С; відносна вологість – 50-75 %; похибка за температурою ± 0,5%.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз існуючих САК параметрів мікроклімату фармацевтичного складу. Практика використання інтелектуальних технологій в САК параметрів мікроклімату фармацевтичних складів. Оптимізація розташування і визначення кількості датчиків вологості і температури повітря та використання інтелектуальних систем контролю. Синтез інтелектуальної системи контролю параметрів мікроклімату на основі нечіткої логіки. Програмні засоби синтезу інтелектуальних систем контролю мікроклімату фармацевтичного складу. Структура та функції інтелектуальної системи регулювання параметрів повітря фармацевтичного складу. Оцінка точності розробленої системи регулювання вологості і температури повітря. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
Мета, предмет та об'єкт дослідження. Схема пошуку критеріальних мінімумів за допомогою нейронної мережі. Ілюстрація можливостей розвинених пакетів Simulink і Fuzzy Logic Toolbox для контролю мікроклімату фармацевтичного складу. Функціональна схема

інтелектуальної системи контролю вологості повітряного середовища фармацевтичного складу. Функціональні схеми нечіткого логічного контролера та інтерфейсу. Функціональна схема взаємодії Fuzzy Logic Toolbox. Структура системи нечіткої логіки для оптимального визначення параметрів мікроклімату фармацевтичного складу. Експериментальні логарифмічні залежності електричного опору датчиків температури та вологості. Поверхні «вхід-вихід» нечіткої моделі та оптимальні функції приналежності змінних типу Мамдані та Сугено. Модель нечіткого регулятора температури. Результати моделювання зміни температури фармацевтичного складу. Криві порівняння результатів ідентифікації. Функціональна схема інтелектуальної системи контролю параметрів фармацевтичного складу. Висновки.

6. Дата видачі завдання 15.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Аналіз існуючих САК параметрів мікроклімату фармацевтичного складу. Практика використання інтелектуальних технологій в САК параметрів мікроклімату фармацевтичних складів.	07.10.25		15%	Пл. 1
2	Оптимізація розташування і визначення кількості датчиків вологості і температури повітря та використання інтелектуальних систем контролю.	21.10.25	I	25%	Пл. 2, 3
3	Синтез інтелектуальної системи контролю параметрів мікроклімату на основі нечіткої логіки.	04.11.25		40%	Пл. 4
4	Програмні засоби синтезу інтелектуальних систем контролю мікроклімату фармацевтичного складу.	11.11.25		50 %	Пл. 5,6
5	Моделювання інтелектуальної системи контролю вологості та температури повітря в програмному середовищі Matlab.	18.11.25	II	60%	Пл. 7
6	Структура та функції інтелектуальної системи регулювання параметрів повітря фармацевтичного складу.	25.11.25		70%	Пл. 8,9
7	Оцінка точності розробленої системи регулювання вологості і температури повітря	09.12.25		90%	Пл. 10,11
8	Оформлення пояснювальної записки.	22.12.25	III	100%	Пл. 12-14

Магістрант

(підпис)

Абакумов О. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кожушко Г. М.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ.....	11
1.1 Особливості контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу.....	11
1.2 Аналіз існуючих систем автоматичного контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу.....	17
1.3 Застосування сучасних програмно-технічних засобів в системах автоматичного контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу.....	22
1.4 Використання інтелектуальних технологій в автоматичних системах контролю параметрів мікроклімату фармацевтичних складів.....	26
в автоматичних системах контролю параметрів мікроклімату теплиць	
1.5 Висновки за розділом.....	31
2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ І ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ.....	33
2.1 Оптимізація розташування і визначення кількості датчиків вологості і температури повітря фармацевтичного складу.....	33
2.2 Використання інтелектуальних систем контролю вологості повітря.....	41
2.3 Синтез інтелектуальної системи контролю вологості повітря на основі нечіткого логічного контролера.....	47
2.4 Висновки за розділом.....	54
3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ.....	56
3.1 Програмні засоби синтезу інтелектуальних систем контролю вологості повітря фармацевтичного складу.....	56

3.2	Моделювання інтелектуальної системи контролю вологості та температури повітря в програмному середовищі Matlab.....	61
3.3	Висновки за розділом.....	78
4.	ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ Й ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ.....	79
4.1	Структура та функції інтелектуальної системи регулювання вологості і температури повітря фармацевтичного складу.....	79
4.2	Опис роботи інтелектуальної системи регулювання вологості і температури повітря.....	90
4.3	Оцінка точності розробленої системи регулювання вологості і температури повітря.....	91
4.4	Висновки за розділом.....	96
	ВИСНОВКИ.....	98
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	100
	ДОДАТКИ.....	102

ВСТУП

Розвиток сучасної фармацевтичної промисловості України супроводжується підвищенням вимог до якості та безпечності лікарських засобів, що, у свою чергу, зумовлює необхідність вдосконалення технологічних процесів їх виробництва, зберігання та реалізації. Одним із ключових етапів життєвого циклу лікарських препаратів є їх зберігання у спеціалізованих складських приміщеннях. Саме на цьому етапі виникає потреба забезпечення стабільного мікроклімату, який гарантує збереження фізико-хімічних властивостей лікарських засобів упродовж усього терміну придатності.

Вимоги до умов зберігання фармацевтичної продукції регламентуються національними та міжнародними стандартами, зокрема правилами належної дистрибуторської практики (GDP - *Good Distribution Practice*), які визначають допустимі межі температури, вологості та чистоти повітря. Недотримання цих параметрів призводить до порушення стабільності лікарських засобів, зміни їхньої структури, зниження ефективності дії та можливого утворення токсичних сполук. Це не лише створює ризики для здоров'я населення, але й завдає значних економічних збитків підприємствам фармацевтичної галузі.

Підтримання необхідних умов зберігання лікарських засобів є складним технічним завданням, що потребує застосування сучасних автоматизованих систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату. Традиційні системи вентиляції та кондиціонування, як правило, не забезпечують достатньої точності регулювання, енергоефективності та адаптивності до змін зовнішніх факторів. Тому актуальним є удосконалення систем автоматичного керування, що базуються на мікропроцесорних технологіях, здатних реалізувати інтелектуальні алгоритми аналізу та прогнозування стану мікроклімату.

Особливу увагу привертає проблема ефективного управління мікрокліматом у складських комплексах регіональних фармацевтичних підприємств, таких як ТОВ «Ліки Полтавщини». Підприємство займається оптовим зберіганням та дистрибуцією лікарських засобів, тому точне

дотримання температурно-вологісних режимів є критично важливим чинником його виробничої діяльності. Сучасні виклики, пов'язані з підвищенням вартості енергоресурсів і потребою забезпечення енергоощадності, вимагають розроблення більш гнучких і технологічно досконалих систем автоматичного регулювання мікроклімату.

Об'єктом дослідження у даній магістерській роботі є процес автоматичного керування мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини».

Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби удосконалення системи керування температурно-вологісними параметрами з метою підвищення її точності, стабільності та енергоефективності.

Метою магістерської роботи є удосконалення системи автоматичного керування мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини» шляхом модернізації її апаратно-програмної структури та впровадження адаптивних алгоритмів регулювання, що забезпечують оптимальні умови зберігання лікарських засобів відповідно до вимог належної дистриб'юторської практики.

Розроблення та впровадження удосконаленої системи автоматичного керування мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини» є важливим науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню рівня безпеки, енергоефективності та конкурентоспроможності підприємства на фармацевтичному ринку України.

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ

1.1 Особливості контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу

Важливим завданням зберігання фармацевтичних препаратів є цілорічне та цілодобове забезпечення потрібного мікроклімату у фармацевтичному складі. Однак специфічні кліматичні умови в більшості регіонів України (жарке сухе літо, холодна волога зима) не дозволяють зберігати препарати на протязі тривалого періоду.

Серед технологічних процесів, що проводяться на фармацевтичних складах, особливу важливість мають процеси контролю і управління параметрами мікроклімату. Найважливішими параметрами мікроклімату є температура, вологість, тиск повітря та рівень освітленості, або її відсутність.

Необхідність точного контролю і підтримки параметрів мікроклімату в складському приміщенні обумовлена з одного боку вимогами виробників ліків, щодо умов зберігання, з іншого боку міркуваннями енергозбереження.

Крім того, необхідний облік специфічних вимог до параметрів мікроклімату в складському приміщенні фармацевтичного складу.

У свою чергу, питання енергозбереження, економії та раціонального використання енергетичних ресурсів підвищують роль точного автоматичного контролю основних параметрів мікроклімату.

До точності контролю і підтримки температури внутрішнього повітряного середовища фармацевтичних складів висуваються вельми жорсткі вимоги: допустиме відхилення температури повітря від рівня, заданого вимогами, мусить складати всього ± 1 °С.

Перевитрати енергії виникають при порушенні необхідних меж керування вологістю повітря в фармацевтичних складах.

Таким чином, для дотримання вимог зберігання медичних препаратів і економного використання енергоресурсів необхідний безперервний автоматичний контроль параметрів мікроклімату в фармацевтичному складі.

Мікроклімат фармацевтичного складу характеризується наявністю великої кількості непрогнозованих перешкод, інформаційною недостатністю і невизначеністю. Це ускладнює облік похибки на температуру повітря при контролі його вологості системами контролю, заснованими на використанні традиційних математичних моделей. Разом з тим, застосування традиційних математичних моделей на основі теорії ймовірностей і математичної статистики для обробки нечітких даних трудомістке і неефективне заняття [2].

У зв'язку з цим, оптимальним розв'язанням зазначеної задачі є розроблення автоматичних систем контролю параметрів мікроклімату, заснованих на використанні сучасного математичного апарату нечіткої логіки [3-5]. Моделям, створеним на основі нечіткої логіки, притаманні такі властивості технічного інтелекту, як самоадаптація і самонавчання. Тому нечітка логіка відноситься до, так званих, інтелектуальних технологій обробки інформації, а технічні системи, засновані на нечіткій логіці, є інтелектуальними, що забезпечують високу ефективність їх застосування в умовах інформаційної невизначеності.

Питання дослідження і розроблення систем автоматичного контролю параметрів мікроклімату, здатних працювати в умовах інформаційної невизначеності, вивчені недостатньо. Тому розроблення інтелектуальної системи контролю вологості і температури повітря в фармацевтичному складі, заснованої на нечіткій логіці, є актуальною задачею.

Основними чинниками, що визначають мікроклімат, є сукупність значень параметрів внутрішнього повітря (температура, відносна вологість, тиск, швидкість руху).

Для забезпечення оптимального мікроклімату фармацевтичні склади обладнуються складними системами електропостачання, теплозабезпечення, системами вентиляції і т.д. Забезпечення оптимального мікроклімату в

фармацевтичному складі передбачає цілеспрямоване управління всіма її системами, на основі оперативної інформації про значення параметрів, що характеризують даний мікроклімат.

Оперативний контроль параметрів мікроклімату є найважливішим елементом інформаційного забезпечення управління технологічним процесом зберігання медичних та біопрепаратів. Ефективне ведення оперативного контролю мікроклімату неможливе без застосування сучасних високотехнологічних систем автоматичного контролю.

Інтенсивність впливу сонячної радіації можна записати у вигляді математичної моделі [5, 6]

$$T(t) = f(E_a, N_a, T_a, \varphi_a, x, t), \quad (1.1)$$

де E_a - інтенсивність, активної сонячної радіації; N_a - концентрація в повітрі; T_a - температура повітря; φ_a - відносна вологість повітря; x - біологічні фактори; t - час.

Аналіз літератури [6-8] показує, що на сьогоднішній день не існує єдиної універсальної математичної моделі, яка однозначно описує зв'язок між тими чи іншими показниками біологічної зміни й зовнішніми чинниками. Однак деякі відомі моделі можуть бути успішно застосовані при вирішенні завдань контролю і управління параметрами мікроклімату.

У практичних цілях найбільш перспективною представляється модель, заснована на принципі лімітуючих факторів, згідно з яким швидкість споживання одного лімітуючого фактора (самого "повільного") диктує швидкість інших, наявних у надлишку. Для побудови моделі, заснованої на принципі лімітуючих факторів, необхідно знати залежність інтенсивності активної сонячної радіації від окремих параметрів зовнішнього середовища. На сьогоднішній день досліджені як кількісні, так і якісні характеристики, зміни інтенсивності сонячної радіації від різних параметрів зовнішнього середовища.

Для конкретної сукупності параметрів мікроклімату (згідно принципу лімітуючих факторів) визначається як мінімальне значення з тих, які визначені за існуючими залежностями окремих параметрів.

За період часу, тривалістю порядку доби, просторові характеристики змінюються в незначній мірі [5, 6]. Тому для контролю і управління мікрокліматом протягом добового циклу може бути використана модель (1.1).

Крім того, при розробці зазначених алгоритмів необхідно враховувати, що фармацевтичні склади відносяться до найбільш складних об'єктів автоматизації [3-8]. Дана обставина обумовлена нестаціонарністю та інформаційною невизначеністю фармацевтичного складу, як об'єкта контролю і управління.

Крім того, наявність великої кількості непрогнозованих збурень обумовлює інформаційну невизначеність фармацевтичного складу, як об'єкта контролю та управління.

Таким чином, аналіз особливостей фармацевтичних складів, як об'єктів автоматизації, дозволяє сформулювати певні вимоги до системи автоматичного контролю параметрів мікроклімату в зазначених спорудах.

Зокрема, системи контролю повинні володіти високою надійністю і точністю, властивостями адаптивності та технічного інтелекту, оскільки часто призначені працювати в умовах інформаційної недостатності і невизначеності.

Тому, на сьогоднішній день існує гостра необхідність у розробці нових систем автоматичного контролю параметрів мікроклімату в фармацевтичних складах, заснованих на використанні сучасних засобів обчислювальної техніки і інтелектуальних технологій аналізу інформації і прийняття рішень.

Метрологічна характеристика параметрів мікроклімату фармацевтичного складу. Перш ніж приступити до аналізу систем контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу, дамо коротку метрологічну характеристику найбільш значущим з вказаних параметрів.

Освітленість. Одним з важливих параметрів мікроклімату фармацевтичного складу є освітленість. Одиницею виміру освітленості являється Люкс (лк). Описуваний параметр вимірюється за допомогою приладу різних конструкцій - Люксметрів [6].

Швидкість переміщення повітря. Наступним параметром мікроклімату фармацевтичного складу є швидкість переміщення повітряної маси. Одиницею виміру зазначеного параметра служить м/с. Швидкість переміщення повітря вимірюється за допомогою приладів різних конструкцій, так званих анемометрів (в перекладі з грецького "вітромер") [6]. Принцип роботи описуваних приладів полягає у наступному: контрольований повітряний потік обертає "вертушку", кінематично пов'язану з лічильником числа обертів, механічним або електричним. За швидкістю обертання "вертушки" судять про швидкості повітряного потоку.

Температура. Іншим важливим параметром мікроклімату фармацевтичного складу є температура повітря усередині. Температура характеризує ступінь нагрівання повітря і в системах контролю вимірюється в градусах Цельсія, ° С. Існують десятки пристроїв, призначених для контролю температури повітря. Однак у системах автоматичного контролю широко застосовуються лише термометри опору і термопари.

При контролі температури за допомогою термометрів опору про температуру контрольованого середовища судять по величині електричного опору датчика, залежного від температури контрольованого середовища.

При контролі температури повітря за допомогою термопари про величині контрольованого середовища судять за величиною термо-ЕРС датчика, залежного від температури контрольованого середовища.

Відносна вологість повітря. Наступним досить важливим параметром мікроклімату є відносна вологість повітря фармацевтичного складу. Відносна вологість повітря - фізичний параметр, визначається як відношення тиску водяної пари p до тиску насичення водяної пари p_3 при даній температурі, виражене у відсотках [7]. Прилади, які використовують для вимірювання

відносної вологості повітря, називаються гігрометрами (від грецького слова *hygros* - вологий).

Існує велика кількість конструкцій гігрометрів, заснованих на різних методах вимірювання вологості. Однак широке застосування в системах автоматичного контролю знайшли прилади, перераховані нижче.

Ємнісні гігрометри. Принцип дії цих пристроїв заснований на використанні діелектричних властивостей повітря від його відносної вологості.

Резистивні гігрометри. Робота цих приладів заснована на використанні залежності електричного опору повітря від його відносної вологості.

Психрометричні гігрометри засновані на вимірюванні температури двома термометрами: "сухим" (звичайним) і "мокрим", що має чутливий елемент, змочений водою, і знаходиться в термодинамічній рівновазі з навколишнім повітряним середовищем [7]. Випаровування з поверхні чутливого елемента мокрого термометра відбувається тим інтенсивніше, чим нижче вологість повітря. За різницею показань сухого і мокрого термометрів визначають відносну вологість повітря.

Електролітичні гігрометри. Названі прилади засновані на використанні в якості чутливого елемента сухих електролітів інтенсивно поглинають вологу: хлориду літію, пентоксиду фосфора [7]. Зазначені чутливі елементи є основним елементом численних електричних пірометричних датчиків (ЕПД) вологості повітря. У ЕПД вихідною величиною являється електропровідність чутливого елемента, що залежить від вологості повітря. Тому дані пристрої оптимально підходять для роботи у складі систем автоматичного контролю вологості.

Важливо зауважити, що відносна вологість повітря тісно пов'язана з величиною температури і тиску повітряної маси. На основі відомих залежностей між термодинамічними параметрами вологого повітря [7] в роботі була отримана залежність теплоутримання від температури і відносної вологості повітря

$$I = at^2\varphi + bt\varphi + ct + kt, \quad (1.2)$$

де a , b , c , k - коефіцієнти апроксимуючого багаточлена, отримані розрахунковим способом;

t - температура повітря; φ - відносна вологість повітря.

Таким чином, вираз (1.2) показує, що, знаючи всього лише два параметри, температуру і відносну вологість повітря, можна з високим ступенем надійності судити про мікроклімат фармацевтичного складу. Вказана обставина з одного боку підвищує вимоги до системам контролю вологості і температури, з іншого боку дозволяє виключити контроль деяких параметрів, аналітично пов'язаних з температурою і вологістю повітря фармацевтичного складу. Остання обставина дозволяє створювати більш прості, надійні і недорогі системи автоматичного контролю мікроклімату.

1.2 Аналіз існуючих систем автоматичного контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу

Незважаючи на великі досягнення в області цифрової обчислювальної техніки і сучасних інформаційних технологій, до теперішнього часу в фармацевтичних складах нашої країни широко застосовуються аналогові засоби контролю і управління мікрокліматом. Такий стан справ обумовлено в першу чергу економічним становищем України. На сучасному ринку України відсутні ефективні недорогі системи контролю та управління мікрокліматом. Тому багато фармацевтичних компаній змушені використовувати застарілі системи контролю та управління. Це в першу чергу, комплекти електрообладнання типів КТ-1 і УТ12УЗ, призначені для будівель блочного і ангарного типів з теплопостачанням від окремо розташованих автоматизованих котелень [8, 9].

Системи контролю й регулювання в комплекті КТ-1 побудовані по локальному принципу на загальному апаратурі [5].

Для контролю та стабілізації температури повітря в фармацевтичному складі комплект КТ-1 обладнаний регулятором температури обігріву (РТО) і регулятором температури вентиляції (РТВ).

Температура в РТО оцінюється по сигналу від датчика температури ТСМ-50, що входить в описуваний комплект. При нестачі теплоти регулювання температури обігрівом здійснюється шляхом впливу РТО на триходовий змішувальний клапан типу С27, який змінює співвідношення змішуваних потоків від живлячого і зворотного трубопроводів теплової мережі системи опалювання.

Для контролю температури в РТВ також застосований датчик температури ТСМ-50. При надлишку теплоти РТВ впливає на виконавчий механізм системи вентиляції.

Функції регуляторів температури обігрівом і вентиляцією виконують пропорційні регулятори з безконтактним релейним виходом РПБ-С, забезпечують формування ПІ-закону регулювання з часом ізодрому до 200с.

Щоб уникнути взаємного впливу РТО і РТВ один на одного їх конфігураційні уставки розносять на 4-6 °С [9].

Для контролю і регулювання відносної вологості повітря в комплекті КТ-1 використовується двопозиційний вимірювач-регулятор вологості повітря СПР 104 з електролітичним натрієво-калієвим датчиком ЕВЧ [9].

Недоліком комплексу контролю і регулювання КТ-1 є низька точність контролю і регулювання температури і вологості повітря, що призводить до додаткових витрат теплової енергії на обігрів.

Зазначені недоліки системи КТ-1 обумовлені недосконалістю апаратної частини системи контролю та неефективністю реалізованих в ній алгоритмів роботи.

Визначені недоліки системи КТ-1 властиві й іншим відомим аналоговим системам контролю та управління [9].

Аналіз типових аналогових систем контролю і управління параметрами мікроклімату показує, що зазначені системи мають слабку інформаційну

забезпеченість і не враховують різноманіття факторів, що впливають на мікроклімат фармацевтичного складу.

Тому аналогові системи контролю і регулювання не дозволяють домогтися високої точності контролю і підтримки параметрів мікроклімату і не забезпечують економічних режимів роботи енергоємних систем.

Мікропроцесорні системи контролю. Наступним етапом розвитку систем контролю і управління мікрокліматом стало застосування трансформаційних змін в них мікропроцесорних вимірвачів-регуляторів, що дозволяють з високою точністю враховувати мінливі фактори, які впливають на мікроклімат фармацевтичного складу.

Відома автоматична система контролю параметрів мікроклімату, заснована на восьмиканальному вимірнику-регуляторі ТРМ138 [10].

З вихідного пристрою цифровий сигнал вимірюного параметра надходить на заданий логічним пристроєм підсилювач, де здійснюється підсилення і формування двох однакових цифрових сигналів, еквівалентних вхідному сигналу. Один зі сформованих сигналів надходить на відповідний зовнішній пристрій індикації, де здійснюється виведення вимірюного параметра в чисельному вигляді. Другий сформований в підсилювачі сигнал надходить на відповідний пристрій реєстрації, де здійснюється його реєстрація в зручному для оператора вигляді.

Перевагами розглянутої системи контролю є відносна простота її схеми, надійність, невисока вартість, можливість передачі інформації на зовнішні пристрої.

Недоліками даної системи контролю є обмежені можливості перепрограмування алгоритму її роботи, відсутність можливості архівації значень контрольованих параметрів. Системи контролю, засновані на застосуванні обчислювальної техніки. Необхідність контролю і підтримки параметрів мікроклімату в реальному масштабі часу в складних умовах інформаційної невизначеності, що вимагає застосування засобів обчислювальної техніки в системах контролю зазначених параметрів.

Сучасна автоматична система контролю мікроклімату фармацевтичного складу – це комплекс програмно-апаратних засобів, завданням якого є отримання та реєстрація повної інформації про параметри мікроклімату, необхідної для підтримки зазначених параметрів у заданих межах.

До недавнього часу системи автоматичного контролю базувалися на використанні гнучко програмованих контролерів. Однак в останні роки серйозну конкуренцію таким системам стали надавати системи контролю на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК).

Враховуючи низьку вартість сучасних ПЛК, розроблені системи контролю базуються на них. Розглянемо сучасну автоматичну систему контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу, що має в своєму складі ПЛК [11].

Функціональна схема даної системи наведена на рис. 1.1 і включає в себе:

1. Датчики контрольованих параметрів. Для контролю температури повітря в системі застосований датчик DS18B20 фірми DALLAS. Відносна вологість повітря вимірюється за допомогою хлористо-літійового датчика ННЗ610-004 фірми Huawei. Крім того, в системі реалізований психрометричний метод визначення вологості.

Для контролю атмосферного тиску в системі використовується перетворювач Метран-100 (вітчизняного виробництва), з уніфікованим струмовим виходом 0 -5 мА.

Положення вентиляційних фрамуг контролюється за допомогою датчиків положення БСПТ-20, з уніфікованим струмовим виходом 0 -5 мА, встановлених на електроприводах фрамуг.

2. Шафа контролера є найважливішим елементом системи контролю. У даній шафі розміщений програмований логічний контролер (ПЛК), модель Simatic S7 фірми Siemens, з вхідними і вихідними модулями. Контролер здійснює управління роботою системи контролю і виведення даних на персональний комп'ютер оператора, а також на зовнішні споживачі інформації.

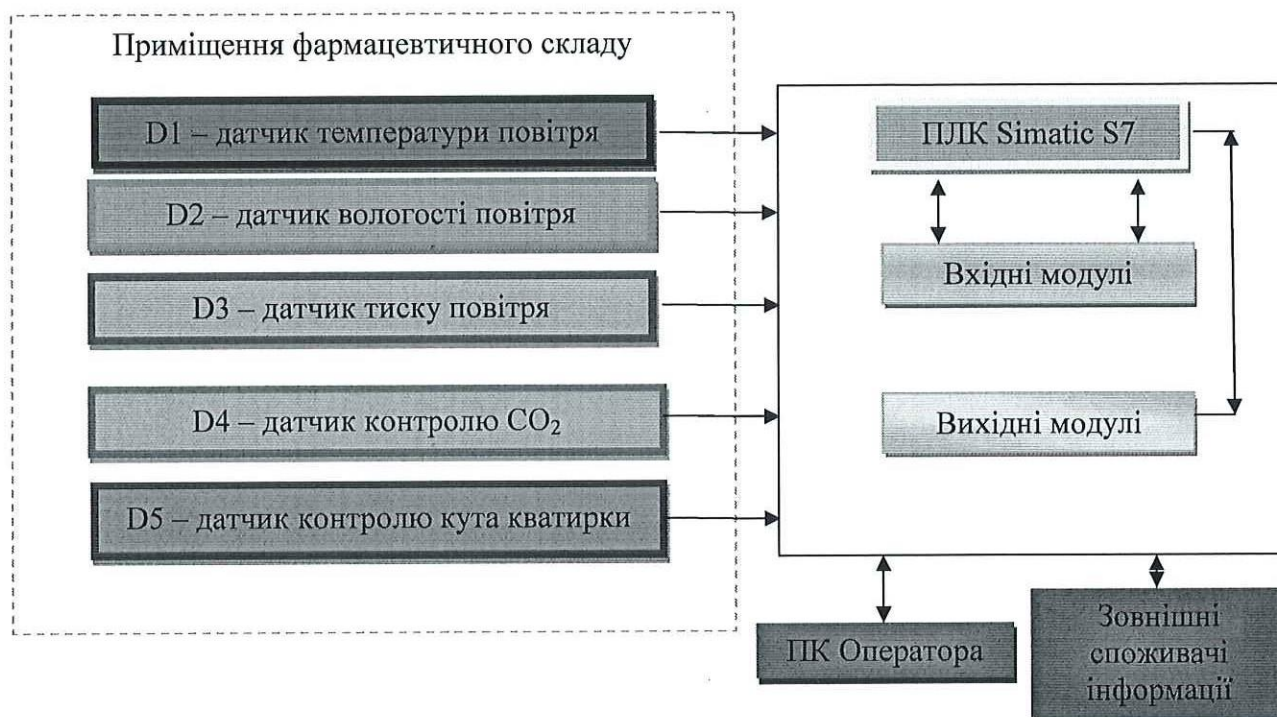


Рисунок 1.1 - Функціональна схема автоматичної системи контролю параметрів мікроклімату з використанням ПЛК

3. Персональний комп'ютер оператора забезпечує зручний інтерфейс зв'язку між оператором і ПЛК, що дозволяє візуально відображати мнемосхему контрольованого технологічного процесу і значення контрольованих параметрів. Крім того, ПК оператора виконує роль інжинірингової станції при перепрограмуванні алгоритму роботи системи контролю. Інформаційний зв'язок між ПЛК і ПК організована по інтерфейсу RS-485.

4. Метеостанція типу "GRO WEATHER" формує дані характеризують параметри зовнішнього середовища.

5. Метеоадаптер по інтерфейсу RS-232 зчитує дані з метеостанції і по інтерфейсу RS-485 передає їх в ПЛК для подальшої обробки. Робота системи контролю. Сигнали з датчиків, що характеризують величину контрольованого параметра надходять на вхідні модулі контролера, де здійснюється їх перетворення і масштабування. З вхідних модулів перетворені сигнали зчитуються контролером для подальшого їх логічного аналізу. На підставі зазначеного аналізу контролер видає інформаційні сигнали на вихідні модулі. З

названих модулів інформація про величину контрольованого параметра по інтерфейсу RS-485 надходить на ПК оператора, де здійснюється її подання в зручному для оператора вигляді.

Функції системи контролю. Розглянута система виконує наступні функції: збір, обробка та надання достовірної оперативної інформації на екрані персонального комп'ютера оператора; подання інформації зовнішнім системам; створення архівів даних про історію технологічного процесу та їх представлення у найзручніших для аналізу формах (текст, графіки, гістограми і т.д.).

В результаті аналізу описуваної системи можна відзначити, що її перевагами є суттєві можливості по збору, аналізу, обробці, оперативному представленню та архівації інформації про параметри мікроклімату складського приміщення фармацевтичного закладу. Недоліками системи є залежність надійної її роботи від великого обсягу вхідної інформації, слабо розвинені можливості адаптації в умовах непрогнозованих змін параметрів об'єкта контролю.

1.3 Застосування сучасних програмно-технічних засобів в системах автоматичного контролю параметрів мікроклімату фармацевтичного складу

Однією з найважливіших проблем, які вирішуються в процесі створення сучасних систем контролю параметрів технологічних процесів, є вибір технічних, програмних та інструментальних засобів, для реалізації необхідних алгоритмів контролю. Успіх програмно-технічних комплексів розвиненої архітектури на ринку засобів для промислової автоматизації надає широкі можливості для створення ефективних систем контролю [6, 8]. Однак в даній ситуації потрібно обґрунтований і ретельний підхід при прийнятті рішень по складу апаратури і програмного забезпечення. Природним і головним, при

виборі технічних рішень є оптимальне співвідношення "ціна/якість". Додатковим чинником є вимога користувача (замовника) того, щоб система в процесі її подальшої експлуатації володіла простотою перенастроювання, легкістю масштабування, простотою обслуговування, модульністю побудови і швидкістю локалізації несправних елементів. Слід зауважити, що крім надійності функціонування важливими вимогами до систем контролю є функціональні можливості, простота налагодження та обслуговування, пристосованість до специфічних умов, відповідність загальноприйнятим стандартам. Будь-яка система контролю містить ядро, як сполучна ланка між інтерфейсом і виконавцем. Ця ланка містить пам'ять програм, кодів, алгоритму роботи, як підсистем, так і загальних функцій управління.

Ядро отримує команди від інтерфейсу, датчиків зворотного зв'язку, сенсорів, обробляє ці команди по внутрішній програмі, видає їх на відповідні виконавчі об'єкти та в систему візуалізації інтерфейсу. Ядро системи може бути централізованим (фізично зосередженим в одному, центральному контролері або комп'ютері), так і децентралізованим (кожен компонент містить свій мікроконтролер і пам'ять, всі компоненти обмінюються даними по окремій системній шині).

До основних характеристик систем автоматичного контролю слід віднести інформаційну пропускну здатність мережі, топологію організації мережі (шина, кільце, дерево), фізичну організацію (вита пара, оптоволокно, радіоканал і т.д.), максимальна кількість пристроїв, що підключаються в сегменті і в цілому по мережі, максимальну довжину мережі без повторювачів, і максимальну довжину мережі з повторювачами.

Слід зазначити, що інформаційну пропускну спроможність системи контролю в значній мірі визначає тип інформаційного протоколу. Зокрема, для організації зв'язку ПК або контролера з периферійною апаратурою в сучасних системах контролю найчастіше використовуються відкриті стандарти, що дозволяють об'єднувати в одній схемі апаратні і програмні засоби різних виробників. Підключення датчиків до пристрою прийому інформації (ПК,

контролер і т.д.) часто здійснюється за допомогою складних спеціалізованих протоколів: Profibus, FIP, ControlNet, Interbus-S, DeviceNet, PNET, WorldFIP, Long Work, CAN. Протоколи розроблені з урахуванням особливостей виробництва, технічних систем і забезпечують надійні з'єднання і високу точність контролю. Всі існуючі протоколи поділяються на "закриті" і "відкриті". "Закриті" протоколи працюють за унікальними стандартам зв'язку, створює і підтримує їх лише один виробник [6, 8].

"Відкриті" протоколи вирішують проблему інтеграції різних виробників в одну мережу, відповідаючи специфічним інтересам усіх. Мережева топологія описує спосіб мережного об'єднання різних пристроїв. Існує кілька видів топологій, що відрізняються один від одного за трьома основними ознаками:

- за режимом доступу до мережі;
- за можливістю зміни числа вузлів мережі (по розширюваності).

До основних видів топологій відносяться "зірка", "кільце" і "дерево".

Основними представниками названих інтерфейсів є: інтерфейс RS-232; інтерфейс RS-432; інтерфейс RS-485.

Інтерфейс RS-232. Даний стандартний інтерфейс широко використовується для забезпечення роботи стандартного устаткування, передачі даних між модемами, комп'ютерами і терміналами. Електрично система заснована на використанні імпульсів 12 В, що кодують цифрові послідовності "0" і "1". Конструктивно цей стандарт визначає 9 і 25 - контактні роз'єми. Основні сигнали передаються по лініях "передача / прийом" даних. Швидкість передачі вибирається з діапазону від 50 до 38400 біт/с. Решта сигнальні лінії передають статусну інформацію комутованих пристроїв.

Інтерфейс RS-422. Симетричний інтерфейс RS-422 заснований на використанні симетричних сигнальних ліній. На приймальному кінці використовується дві інформаційні лінії і лінія заземлення.

В основі кодування переданих - прийнятих даних лежить принцип зміни напруги на сигнальних лініях. Реалізований принцип кодування робить цей інтерфейс стійким до зовнішніх збурень. Використання описуваного стандарту

дозволяє значно подовжувати фізичні лінії передачі даних і збільшувати швидкість передачі інформації. За допомогою інтерфейсу RS-422 можна створювати і шинні структури. Інтерфейс RS-485 заснований на використанні специфікації симетричною передачі даних, описаної в американському стандарті IЕА

Інтерфейс RS-485 придатний для високошвидкісної передачі даних. Максимальна довжина мережі, створеної на основі RS-485 становить 1,2 км, при швидкості передачі даних до 90 кб/с. Мінімальна довжина мережі, створеної на основі RS-485, становить 0,2 км, при швидкості передачі даних до 500 кб / с. SCADA-пакети в системах автоматичного контролю параметрів технологічних процесів. Важливою ланкою автоматичних систем контролю технологічних параметрів є механізм взаємодії оператора-технолога і контрольованого процесу. Це здійснюється за допомогою пульта контролю, що реалізує візуалізацію параметрів технологічного процесу, з метою надання найбільш повної інформації оператору-технологу. Представляє великий науковий і практичний інтерес розробка і побудова автоматичних систем контролю гнучких технологічних процесів, коли змінюються: фізичні властивості контрольованого об'єкта; режими проведення технологічного процесу; контрольовані і керовані технологічні параметри; критерії контролю і управління. У зв'язку з цим, актуальним є завдання розробки програмувальних систем відображення, які можуть програмно коригуватися в залежності від внесених в технологічний процес змін і реалізуються у вигляді віртуальних комп'ютерних пультів контролю і управління, динамічних мнемосхем. Застосування віртуальних комп'ютерних пультів контролю та динамічних мнемосхем значно підвищує гнучкість автоматичних систем контролю (АСК) і зручність їх використання операторами-технологами, які не володіють методами програмування. Оскільки, описувані пульти дозволяють змінювати структуру і параметри алгоритмів контролю за допомогою дружнього програмно-користувальницького інтерфейсу, наданого SCADA-пакетами прикладних програм. Крім того, кошти SCADA- пакетів забезпечують

оператора-технолога інформацією про хід технологічного процесу в реальному масштабі часу, в зручному для сприйняття вигляді. SCADA-пакети програм для АСК дозволяють перевести методи побудови систем контролю на індустріальну основу [6].

Оскільки, зважаючи відкритої архітектури даних пакетів їм притаманні великі можливості переналаштування, що дозволяють легко врахувати конкретні особливості контрольованих технологічних процесів (ТП). З ростом обчислювальної потужності комп'ютерів і відповідним зростанням інформаційної потужності операторських станцій відповідно потребам додатків SCADA-системи стають масштабованими, вони випускаються у варіантах, які при збереженні в цілому функціонального профілю підтримують від декількох десятків або сотень до десятків тисяч входів-виходів. Прогрес в області SCADA-систем в останні роки одержав значне прискорення. У розпорядженні розробників і користувачів різних рівнів з'явився інструментарій сучасних SCADA- систем, підтримуваний засобами ОС і мережевих архітектур.

Рішення прикладних проблем у конкретних проектах стають багатоваріантними завдяки таким можливостям, як розподіл функцій між робочими станціями і формування функціональних навантажень станцій; підключення зовнішніх засобів для обробки даних, отриманих в результаті вимірів технологічних параметрів. Підвищилися якісні можливості статистичної обробки даних.

1.4 Використання інтелектуальних технологій в автоматичних системах контролю параметрів мікроклімату фармацевтичних складів

Як ми вже встановили вище, контроль параметрів мікроклімату теплиць доводиться здійснювати в умовах інформаційної невизначеності [9, 10].

Зазначена невизначеність виражається в відсутності точних математичних моделей, що описують характер зміни контрольованих параметрів і їх взаємовплив. Крім того, ведення технологічних процесів в

складському приміщенні фармацевтичного об'єднання характеризується наявністю значного числа непрогнозованих збурень. При названих обставинах застосування традиційних методів контролю не є ефективним. Зокрема, відомі системи контролю, використовують емпіричні залежності між вологістю і температурою повітря, не дозволяють домогтися високої точності контролю вказаної вологості повітря.

Тому на сьогоднішній день для подолання зазначеної проблеми вельми ефективним є використання систем контролю, заснованих на сучасних засобах обчислювальної техніки та інтелектуальних технологіях аналізу інформації та прийняття рішень. Крім того, використання інтелектуальних технологій обробки інформації в системах контролю параметрів мікроклімату дозволяє домогтися високої ефективності контролю зазначених параметрів, навіть, за наявності вельми обмеженої інформації про контрольованих об'єктах [7, 9, 11].

До основних технологій інтелектуальної обробки інформації відносяться: методи нечіткої логіки, нейронні мережі і їх різні взаємні комбінації. Проаналізуємо коротко названі види інтелектуальних технологій обробки інформації.

Використання нейронних мереж у системах контролю. Ідея розробки і створення нейронних мереж (НС), у тому числі і в системах контролю технологічних параметрів, спирається на відомі положення функціонування біологічного нейрона [11].

Штучний нейрон являє собою функціональний блок з одним виходом y і n виходами x_1, x_2, \dots, x_n який реалізує в загальному випадку нелінійне перетворення

$$y = F\left(\sum_{i=1}^n w_i g x_i + b\right) \quad (1.3)$$

де w_i - вагові коефіцієнти (параметри) при вхідних змінних x_i ;

b - постійний зсув, F - функція активації нейрона.

Функція активації може мати, наприклад вигляд:

$$F(z)=1/(1+\exp(-dz)), \quad (1.4)$$

Вираз (1.4) описує сигмоїдальну функцію з деяким параметром d .

Нейронна мережа являє собою орієнтований граф, в якому вершини - це нейрони, зовнішні вхідні або вихідні змінні, дуги - напрям поширення сигналу або сінпasi (рис.1.3). Зазвичай НС складається з безлічі, пов'язаних між собою нейронів, кількість зв'язків може складати тисячі.

Завдяки нелінійності функцій активації і великій кількості коефіцієнтів (параметрів) НС може виконувати досить точно нелінійне відображення множини вхідних сигналів під безліч вихідних. Процес функціонування обраної НС залежить від значень і оптимального співвідношення параметрів w_i , b і d .

Процедура ідентифікації вказаних параметрів називається "навчанням" мережі. Для "навчання" нейронної мережі зазвичай використовуються методи градієнтного пошуку мінімуму критеріальної функції $\varepsilon = (y^* - y)^2$, що залежить від параметрів нейронів.

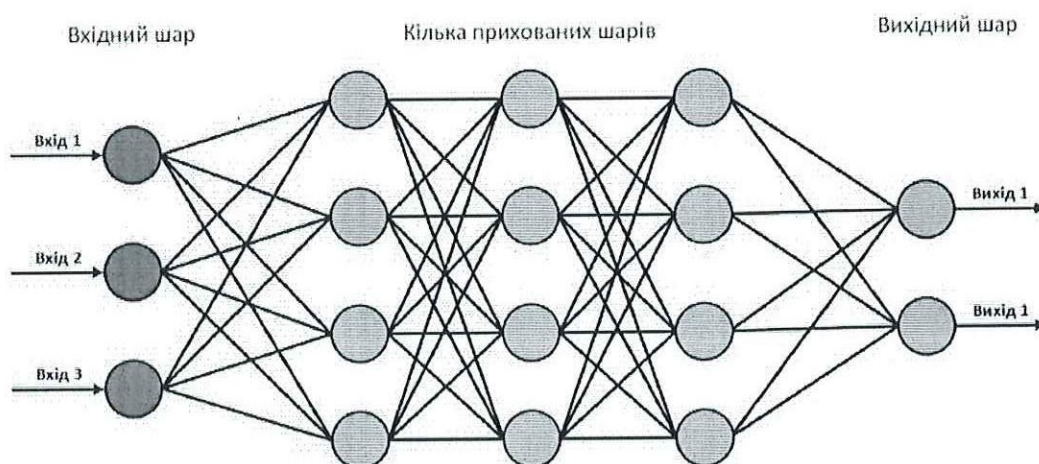


Рисунок 1.3 – Схема пошуку критеріальних мінімумів за допомогою нейронної мережі

Процес пошуку є ітераційним, на кожній ітерації знаходять всі коефіцієнти мережі, спочатку для вихідного шару нейронів, потім для

попереднього і так до першого шару (метод зворотнього поширення помилки) [11]. Недоліком НС є представлення вихідної інформації в спеціальному вигляді, яке може суттєво відрізнитися від можливої змістовної інтерпретації існуючих взаємозв'язків. Крім того, реалізація нейронних мереж вимагає використання більших комп'ютерних потужностей, що не завжди виправдано. На сьогоднішній день існує значна кількість програмних засобів, що дозволяють синтезувати і реалізувати інформаційно-вимірювальні системи, на основі нейронних мереж. Зокрема ефективним інструментарієм для створення названих систем володіє програмна середа Matlab.

Застосування методів нечіткої логіки виявляється особливо ефективним, коли в описі об'єкта контролю присутня невизначеність, яка ускладнює або навіть виключає застосування точних кількісних методів і підходів [9]. Зокрема, при контролі вологості повітря фармацевтичного складу дуже проблематичне завдання визначення (ідентифікації) математичної залежності результату вимірювання від спостережуваних вхідних параметрів системи контролю. Застосування звичайних математичних методів, при вирішенні зазначеної задачі, припускає використання складних залежностей і не забезпечує достатньої точності ідентифікації [11].

Для вирішення описаної вище задачі досить ефективним представляється використання методів нечіткої логіки, зокрема методу нечіткого логічного виводу [12].

Використання нечіткої логіки в ідентифікації складних нелінійних залежностей володіє наступними перевагами:

- Алгоритм ідентифікації на основі нечіткого логічного виведення більш простий для розуміння, ніж аналогічні алгоритми на основі диференціальних або різницевих рівнянь;
- Простота реалізації в порівнянні з традиційними математичними методами ідентифікації;
- Порівняно невеликий обсяг обчислень. В основі теорії нечіткої логіки лежать поняття нечіткої та лінгвістичних змінних, нечітких множин. Дана

обставина дозволяє використовувати в нечіткої логіки такі обороти природного мови, як "мало", "багато", "норма". Застосування названого математичного апарату дозволяє ефективно використовувати апіорну інформацію, одержувану від експертів в звичній для них лінгвістичної формі. В даний час створено ряд програмних продуктів для практичного використання нечітких множин, дозволяють синтезувати моделі нечітких множин, не маючи кваліфікації програміста. Один з них - це програмна середа Matlab, яка забезпечена найбільш розвиненими пакетами Simulink і Fuzzy Logic Toolbox (рис.1.2). Для реалізації всіх концепцій нечіткого висновку - фазифікації, агрегування, активізації або композиції подзаключеній, акумулювання правил, дефазифікації вихідних даних передбачені спеціальні процедури і функції, створені в пакетах моделювання Matlab.

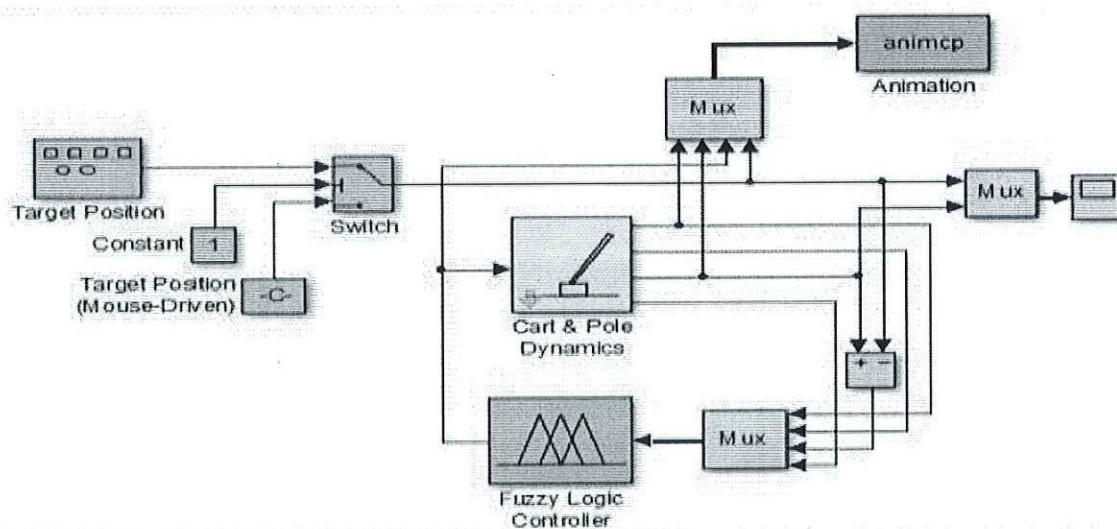


Рисунок 1.2 – Ілюстрація можливостей розвинених пакетів Simulink і Fuzzy Logic Toolbox для контролю мікроклімату фармацевтичного складу

У середовищі Matlab реалізовані наступні функції нечіткої логіки:

1. 11 типів вбудованих ФП (функцій належності) для побудови термів нечітких змінних.
2. Функції управління структурою даних системи нечіткого виведення FIS (Fuzzy Interference System).

У підсумку аналізу методів обробки інформації на основі інтелектуальних технологій відзначимо наступне. Застосування методів нечіткої логіки вельми ефективне, оскільки зазначені методи значно простіші нейронних мереж, при практичній реалізації в системах контролю, і володіють досить потужним інструментарієм для обробки інформації.

Крім того, зазначені методи вимагають для їх реалізації значно менші комп'ютерні потужності, ніж ті, що необхідні для реалізації систем на основі нейронних мереж. Проведений аналіз стану питання контролю параметрів мікроклімату і огляд сучасних методів і засобів аналізу і обробки вимірювальної інформації показав, що доцільно розробити та дослідити інтелектуальну систему контролю вологості і температури повітря складського фармацевтичного приміщення, із використанням методів нечіткої логіки.

1.5 Висновки за розділом

1. Для виконання вимог зберігання фармацевтичних препаратів та з урахуванням міркувань енергозбереження, необхідний оперативний контроль параметрів мікроклімату в зазначених спорудах.

2. Фармацевтичні складські приміщення, як об'єкти контролю та управління, характеризуються інформаційною невизначеністю і нестаціонарністю.

3. Ефективне здійснення оперативного контролю мікроклімату можливе лише при використанні сучасних систем автоматичного контролю, що базуються на інтелектуальних технологіях обробки інформації.

4. Аналіз існуючих систем контролю показує, що на сьогоднішній день не створена ефективна система контролю, що дозволила б задовольнити вимоги зберігання фармацевтичних препаратів та знизити енергоємність технологічних процесів. Зокрема, у відомих системах контролю, канали вимірювання

вологості та температури не забезпечують необхідної точності, що призводить до значної перевитрати енергії при керуванні зазначеними параметрами.

5. На сьогоднішній день є актуальною необхідність у розробленні ефективних систем контролю вологості і температури, що базується на використанні сучасних комп'ютерних засобів та інтелектуальних технологій аналізу інформації та прийняття рішень.

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ І ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ

2.1 Оптимізація розташування і визначення кількості датчиків вологості q температури повітря фармацевтичного складу

Як об'єкт контролю та керування параметрами мікроклімату фармацевтичний склад має просторово розподілені параметри, так як вологість $\varphi = \varphi(t, x, y, z)$ і температура $T = T(t, x, y, z)$ її внутрішнього повітряного середовища залежать не тільки від часу t , але і від просторових координат x, y, z точки, в яких вони вимірюються.

Проблема контролю під час керування вологісним і температурним режимами полягає в наступному. Є лише один вхід, на який надходить сигнал управління $u(t)$ і безліч виходів, на кожному з яких можуть бути виміряні вихідні сигнали $\varphi(t, x, y, z), T(t, x, y, z)$. При цьому на виконавчі пристрої зволоження і обігріву повітря діють випадкові збурення $\lambda = \lambda(t, x, y, z)$, обумовлені тепломасообмінном з навколишнім середовищем.

Визначимо оптимальне розташування датчиків температури повітря в складському приміщенні і їх мінімально необхідну кількість проектованої системи контролю. Для цього побудуємо і проаналізуємо математичну модель теплообмінних процесів, які характеризуються просторово розподіленими координатами.

Розглянемо складське приміщення, котре обігрівається за допомогою двох нагрівачів, розташованих в її торцях (рис. 2.1). Отримаємо аналітичний вираз для передавальної функції каналу керування температурою $T(x, t)$

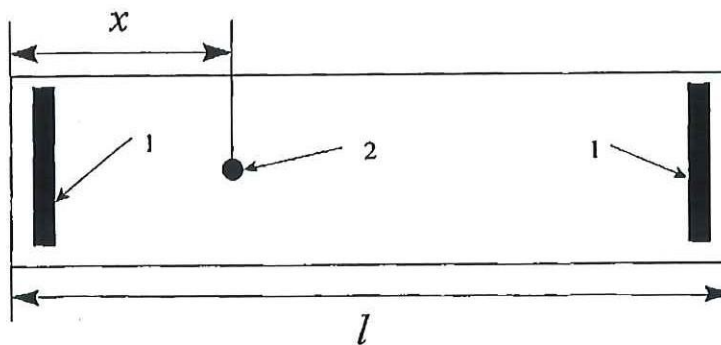


Рисунок 2.1 - Система обігріву складського приміщення: 1 - обігрівач; 2 - датчик температури внутрішньої повітряної середовища, де x - відстань від одного з торців приміщення, $T(x, t)$ задовольняє рівнянню температуропровідності

$$\frac{k_t(x, t)}{dt} = a_2 \frac{k_t T(x, t)}{dt^2} + f_t(x, t) \quad (2.1)$$

де k_t - коефіцієнт температуропровідності повітря з урахуванням конвекції;

$f_t(x, t)$ - щільність температурних джерел в точці з координатою x в момент часу t .

Рівняння (2.1) вирішимо при наступних граничних умовах:

$$T(0, t) = q(t); T(l, t) = g(t) \quad (2.2)$$

де $q(t)$ і $g(t)$ - задані функції часу, а l - довжина.

Граничні умови (2.2) мають місце, коли в торцях приміщення знаходяться нагрівальні пристрої, що підтримують при $x = 0$ і $x = l$ відповідно температури $q(t)$ і $g(t)$. Розглянемо випадок, коли нагрівальні пристрої працюють узгоджено, тобто виконується рівність:

$$q(t) = g(t). \quad (2.3)$$

З урахуванням (2.3) граничні умови (2.2) приймають вид

$$T(0,t) = T(l,t) = q(t). \quad (2.4)$$

Застосувавши до рівняння (2.1) одностороннє перетворення Лапласа по часу отримаємо

$$T(x,s) = k^2 \frac{d^2 T(x,s)}{dx^2} + f(x,s) \quad (2.5)$$

де $T(x,s)$ і $f(x,s)$ - зображення по Лапласу функцій $T(x,t)$ і $f(x,t)$ відповідно, а s - комплексна змінна.

Після застосування до граничних умов (2.4) зазначеного перетворення, вони приймають вид

$$T(l,s) = T(0,s) + q(s) \quad (2.6)$$

де $q(s)$ - зображення по Лапласу функції $q(t)$.

Відомо, що передавальна функція системи управління температурою внутрішньої повітряної середовища визначається виразом:

$$W_{qt}(x,s) = dt(x,s) / q(s) \quad (2.7)$$

де $W_{qt}(x,s)$ - передавальна функція, що відповідає каналу передачі $q(t) \rightarrow T(x,t)$.

Продиференціювавши з урахуванням виразу (2.7), рівняння (2.5) і граничні умови (2.6) по $q(s)$ отримаємо рівняння

$$sW_{qt}(x,s) = a^2 \frac{d^2 W_{qt}(x,s)}{dx^2} \quad (2.8)$$

якому, вже відповідають граничні умови

$$W_{qT}(0, s) = W_{qT}(l, s) = 1 \quad (2.9)$$

Рішення рівняння (2.8) має вигляд

$$W_{qT}(x, s) = Ae^{x\sqrt{s/a}} + Be^{-x\sqrt{s/a}} \quad (2.10)$$

де A і B - невідомі постійні, значення які можна визначити, скориставшись граничними умовами (2.9). У результаті одержимо лінійну систему з двох рівнянь

$$\begin{cases} Ae^{l\sqrt{s/a}} + Be^{-l\sqrt{s/a}} = 1 \\ A + B = 1 \end{cases} \quad (2.11)$$

Вирішивши систему (2.11) і підставивши отримані значення A і B у вираз (2.10), маємо

$$W_{qT}(x, s) = \frac{e^{x\sqrt{s/a}} - e^{-x\sqrt{s/a}} + e^{(l-x)\sqrt{s/a}} - e^{-(l-x)\sqrt{s/a}}}{e^{l\sqrt{s/a}} - e^{-l\sqrt{s/a}}} \quad (2.12)$$

Таким чином, отримано вираз (2.12) для передавальної функції $W_{qT}(x, s)$, яка описує динамічні властивості каналу управління температурою внутрішньої повітряного середовища.

Уявімо вираз (2.12) у безрозмірному вигляді:

$$W_{qT}(x, p) = \frac{e^{x\sqrt{p}} - e^{-x\sqrt{p}} + e^{(1-x)\sqrt{p}} - e^{-(1-x)\sqrt{p}}}{e^{\sqrt{p}} - e^{-\sqrt{p}}} \quad (2.13)$$

виконавши при цьому наступні заміни: $x = x/l$ і $p = sl^2/a^2$, де p - безрозмірна комплексна змінна.

Відзначимо, що в більшості практично важливих випадків отримати досить точні аналітичні вирази для передавальних функцій каналів управління об'єктів не вдається, через математичної складності даної задачі.

Далі, при визначенні оптимального розташування датчиків температури і їх мінімально необхідної кількості, що забезпечує якісне управління температурою повітря, будемо міркувати таким чином:

Нехай $T_{ца}$ - сигнал завдання температури, тоді задачу управління полем температур $T(t, x, y, z)$ сформулюємо у вигляді наступної вимоги:

$$\max |T_{ца} - T(t, x, y, z)| = \min \quad (2.14)$$

Для виконання вимоги (2.14) необхідна інформація про динамічні характеристики каналу передачі керуючих впливів на температурне поле $T(t, x, y, z)$ внутрішньої повітряного середовища. Оскільки виведення динамічних характеристик каналу управління температурою повітря аналітичним шляхом складний, скористаємося зазначеними характеристиками, отриманими експериментально. У даному дослідженні експериментальні перехідні функції каналу керування температурою повітря отримуємо шляхом подачі на вхід управління об'єкта одиничного східчастого впливу $u(t) = \begin{cases} 0, t \leq 0; \\ 1, t > 0. \end{cases}$

При цьому місця розташування температурних датчиків, характеризуються просторовими координатами x_h, y_h, z_h , $h = \overline{1, n}$, де (n - число датчиків). При

цьому виникають перехідні процеси, що відображаються реєструючою апаратурою у вигляді кривих розгону.

Використовуючи отримані криві розгону, можна апроксимувати відповідні передавальні функції $W(s, x_h, y_h, z_h)$ каналів управління температурами $T(t, x_h, y_h, z_h)$, $h = \overline{1, n}$ наступними виразами:

$$W(s, x_h, y_h, z_h) = K_h \frac{e^{-\tau_h s}}{1 + T_h s}; \quad h = \overline{1, n} \quad (2.15)$$

де K_h - коефіцієнт передачі; τ_h - постійна часу транспортного запізнювання; T_h - постійна часу об'єкта; s - комплексна змінна.

В принципі, для управління температурним режимом можна було б створити багатозв'язкову систему управління з одним входом і n виходами, однак практична реалізація таких систем вимагає значних фінансових витрат, що призвело б до суттєвого подорожчання фармацевтичної продукції, що зберігається. Тому можна використовувати найпростішу однозв'язкову систему управління з одним регулятором температури, параметри настройки якого встановимо таким чином, щоб виконувалася вимога

$$\left| T_{\zeta\alpha} - T(t, x_\mu, y_\mu, z_\mu) \right| = \min \quad (2.16)$$

причому координати x_μ, y_μ, z_μ вибираються так, щоб забезпечити виконання вимоги

$$\left| T_{\zeta\alpha} - T(t, x_\mu, y_\mu, z_\mu) \right| = \max \left| T_{\zeta\alpha} - T(t, x_h, y_h, z_h) \right|, \quad (2.17)$$

де $h = \overline{1, n}$.

Отже, на підставі вимоги (2.17) визначається критична точка з координатами x_μ, y_μ, z_μ . В якій відхилення температури $T(t, x_\mu, y_\mu, z_\mu)$ від заданого значення $T_{\zeta\alpha}$ максимального. В свою чергу, виконання вимоги (2.16)

дозволяє це відхилення мінімізувати. В результаті забезпечується виконання вимоги (2.14).

Припустимо, що для управління температурою повітря фармацевтичного складу використовується ПД-регулятор. Тоді для визначення критичної точки визначимо значення його параметрів налаштування для кожної з передавальних функцій каналів управління (2.15) на основі вимог (2.18), (2.19) і (2.20).

$$\frac{T_{\dot{E}} + T_A}{T_{\dot{E}}} = \frac{T_{\dot{E}}}{T_A} = \Phi \equiv \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1.618\dots, \quad (2.18)$$

де $T_{\dot{E}}$ і T_A - відповідно постійні часу інтегрування і диференціювання ПД-регулятора; число $\Phi = 1,618$ прийнято називати золотим, а відношення (2.18) - золотою пропорцією.

$$S_{1,2} = \eta(1 - \beta) \left(-1 \pm i \frac{1}{m_I} \right); \quad S_{3,4} = \eta(1 + \beta) \left(-1 \pm i \frac{1}{m_I} \right), \quad (2.19)$$

де $S_{1,2}$ і $S_{3,4}$ - домінуючі коріння характеристичного рівняння передавальної функції (2.13); β - дійсне число, причому $0 < \beta < 1$; η - показник абсолютного демпфірування вільного руху системи; m_I - гранично допустима величина показника відносного демпфірування m .

Значення величин m_I і β - підбираються так, щоб для відносини T_I/T_D та показника коливальності M - виконувалися відповідно вимога (2.18), тобто $T_I/T_D = \Phi$, і рівність $M = \Phi$. (2.20).

Потім визначимо найбільш інерційний з розглянутих можливих каналів управління температурою, для якого резонансна частота або величина m будуть мінімальні. Встановимо значення параметрів настройки ПД-регулятора, отримані для даного каналу.

Відомо, що при зміні параметрів передавальної функції каналу керування об'єктом, в заданих інтервалах, для налаштування регулятора слід вибирати такі значення цих параметрів, при яких інерційність керованого об'єкта буде максимальною [13]. Оскільки в цьому випадку нерівність

$$M \leq \Phi. \quad (2.21)$$

не порушується, якщо значення параметрів настроювання регулятора залишити незмінними, а в якості передавальної функції каналу управління об'єктом використовувати будь-яку з функцій (2.15).

Виконання нерівності (2.21) у всіх точках приміщення гарантує, що якість управління температурою в кожній з них буде не гірше, ніж у точці з координатами x_μ , y_μ , z_μ , в якій була виконана оптимальна настройка ПД-регулятора температури на основі вимог (2.18), (2.19), (2.20). Отже, використовуваний підхід до налаштування регуляторів забезпечує задану якість управління температурою у всіх точках приміщення, а значить і виконання вимоги (2.14).

Таким чином, розглянутий приклад підтверджує доцільність вибору об'єктів з просторово розподіленими параметрами найбільш інерційного каналу керування для виконання розрахунку оптимальних значень параметрів настройки регулятора, і вибору місця розташування датчика, що реєструє значення керованої величини.

Розроблений метод дозволяє аналізувати залежність динамічних характеристик каналу керування температурою повітря від місця розташування датчиків контролю температури. Описаний метод дозволяє не тільки правильно вибрати місце розташування датчиків температури повітря, а й мінімізувати їх кількість, не погіршуючи якість управління температурою.

За допомогою запропонованого методу вдалося встановити достатність лише одного датчика температури в розглянутому автором випадку контролю і управління температурою повітря фармацевтичного складу. Інформація від датчиків температури розташованих в інших місцях буде надлишковою.

Відомо, що динамічні характеристики каналу управління вологістю повітря аналогічні динамічним характеристикам каналу керування температурою зазначеного повітря [12]. Тому автором в даній роботі при

підборі місця розташування та мінімальної кількості датчиків вологості повітря застосований розглянутий вище метод аналізу.

На підставі зазначеного методу встановлено, що для якісного управління вологістю повітря достатньо одного датчика вологості, місце розташування якого забезпечує найбільшу інерційність каналу керування вологістю повітря.

2.2 Використання інтелектуальних систем контролю вологості повітря

У попередньому розділі ми встановили, що контроль вологості повітряного середовища характеризується наявністю великої кількості чинників, що заважають. У зв'язку з цим існує проблема визначення (ідентифікації) функціональної залежності вихідного сигналу автоматизованих систем контролю (АСК) вологості по спостережуваним вхідним параметрам.

Загальна математична модель названого вихідного сигналу може бути описана нелінійною функцією декількох вхідних параметрів вимірювальної системи. Таку функцію можна записати у вигляді виразу

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (2.22)$$

де X_1, X_2, \dots, X_n - вхідні параметри системи автоматичного контролю;

Y - вихідний параметр системи автоматичного контролю.

Відомо [13], що найбільш прогресивні на сьогоднішній день методи побудови систем автоматичного контролю засновані на використанні адекватних математичних моделей функціонування зазначених систем. Однак для автоматичних систем контролю вологості повітряного середовища в складах побудова точних математичних моделей недоцільна.

До того ж ці системи функціонують в повітряному середовищі, властивості якої змінюються або взагалі не можуть бути визначені заздалегідь. Функціонування таких систем можливе тільки з використанням інтелектуальних принципів [13].

Відомо, що більшість автоматичних систем контролю (АСК) вологості повітря засновані на електричних методах вимірювання. Часто в названих системах використовуються первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), в яких вологість контрольованого повітря оцінюється по зміні електричних параметрів проміжного матеріалу, що залежать від вологості [14].

Зокрема, в кондуктометричних датчиках вологість контрольованого повітря оцінюється за електричним опором (провідністю) проміжного матеріалу, залежного від вологості контрольованого повітря.

Струм наскрізної провідності проміжного матеріалу носить іонний характер. Основна кількість іонів дає волога, що міститься в даному матеріалі. Отже, електрична провідність (опір) кондуктометричного датчика вологості повітря залежить від вологості проміжного матеріалу.

У той же час вологість проміжного матеріалу знаходиться в динамічній рівновазі з вологістю контрольованого повітря. Таким чином, електрична провідність (опір) кондуктометричного датчика вологості залежить від вологості контрольованого повітря.

Однак струм наскрізної провідності через датчик вологості повітря залежить і від інших факторів, вплив яких на результати вимірювань носить нерегулярний характер і вимагає застосування спеціальних технічних прийомів в системах автоматичного контролю вологості.

Проаналізуємо вплив визначальних факторів на електричний опір (провідність) кондуктометричного датчика.

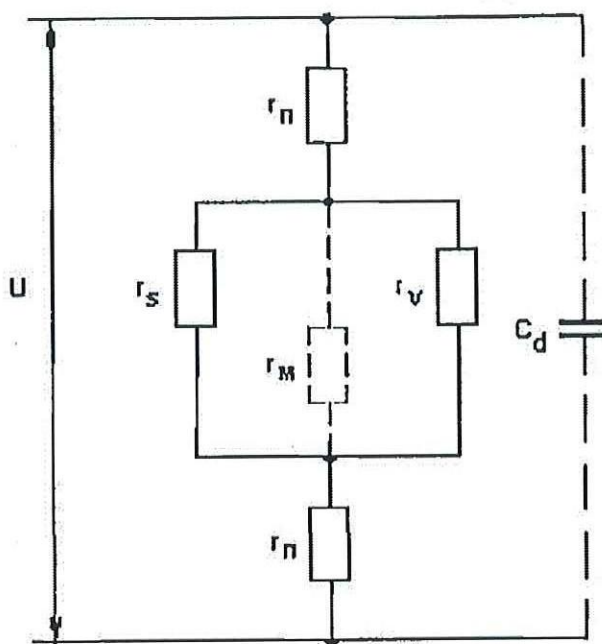


Рисунок 2.2 - Еквівалентна електрична схема кондуктометричного датчика вологості повітря: r_n - перехідний опір "електрод-матеріал"; r_v - об'ємний опір проміжного матеріалу; r_s - поверхневий опір проміжного матеріалу; r_m - узагальнена опір проміжного матеріалу; c_d - ємність датчика вологості повітря

Аналіз проведемо для кондуктометричного датчика, працюючого на постійному електричному струмові, оскільки застосування такого струму найбільш доцільно в системах автоматичного контролю вологості.

Для подальшого аналізу наведемо наближену еквівалентну електричну схему кондуктометричного датчика з матеріалом (рис. 2.2). Видно, що основу кондуктометричного датчика вологості повітря складають два вимірювальних електрода, електрично пов'язаних між собою за допомогою проміжного матеріалу. Найчастіше в описуваних датчиках у якості проміжного матеріалу використовуються полімерні плівки, електричний опір яких залежить від вологості навколишнього повітря [14].

При подачі між електродами постійної напруги U через датчик (рис. 2.2) потече струм, який визначається виразом

$$I = \frac{U}{2 \cdot r_n + \frac{r_s \cdot r_v}{r_s + r_v}}, \quad (2.23)$$

де r_n - перехідний опір "електрод-матеріал";
 r_v - об'ємний опір проміжного матеріалу;
 r_s - поверхневий опір проміжного матеріалу;
 r_m - узагальнена опір проміжного матеріалу;

Видно, що:

$$r_M = \frac{r_s \cdot r_v}{r_s + r_v} \quad (2.24)$$

Тоді,

$$I = \frac{U}{2 \cdot r_n + r_M} \quad (2.25)$$

При стабілізації напруги живлення датчика ($U = \text{const} = A$), а так само величини перехідного опору "електрод-матеріал" ($2 \cdot r_n = \text{const} = B$, матеріал електродів підібраний так, що забезпечується надійний контакт між проміжним матеріалом і електродом) вираз (2.25) приймає вид:

$$I = \frac{A}{B + r_M} \quad (2.26)$$

Таким чином, встановлено, що зміни струму, через датчик, практично залежать від змін електричного опору проміжного матеріалу. Це опір є складною функцією багатьох параметрів

$$r_M = \psi(W_M, t, H, E) \quad (2.27)$$

де W_M - вологість проміжного матеріалу;
 t - температура проміжного матеріалу;
 H - хімічний склад і будова проміжного матеріалу;
 E - електрохімічний критерій границі "електрод - матеріал".

Оскільки вологість і температура проміжного матеріалу залежать від вологості і температури навколишнього повітря, то електричний опір кондуктометричного датчика вологості повітря R можна описати виразом:

$$R = \psi_1 (W, T, H, E), \quad (2.28)$$

де W - вологість контрольованого повітря;

T - температура контрольованого повітря;

H - хімічний склад і будову проміжного матеріалу;

E - електрохімічний критерій кордону "електрод - матеріал".

Параметр W у виразі (2.28) є контрольованим, а всі решта - так званими "збурювальними" факторами, тобто параметрами, які не є вимірюваними, але що роблять вплив на результати вимірювання. Очевидно, що вимірювання вологості буде точним в тій мірі, в якій вдасться виключити вплив "заважають" параметрів і отримати функціональну зв'язок між електричним опором датчика і вологістю контрольованого повітря.

Відомо [10], що визначальний вплив на величину R у виразі (2.28) надають параметри W і T . Тоді вихідний сигнал з датчика вологості в загальному випадку можна описати нелінійної функцією:

$$R = F(W, T), \quad (2.29)$$

де W - вологість контрольованого повітря;

R - електричний опір датчика вологості повітря;

T - температура контрольованого повітря;

Вираз (2.29) можна записати у вигляді явної функції вологості контрольованого повітря W :

$$W = F_1(R, T), \quad (2.30)$$

При контролі вологості повітря взаємозв'язок між вказаною вологістю W і параметрами R і T у виразі (2.30) зазвичай складна і не піддається строгому математичному опису (формалізації). Часто такі залежності називають – нечіткими.

На практиці використовуються різні емпіричні залежності вихідного сигналу описуваних датчиків від вологості і температури контрольованого середовища, що не дозволяє домогтися високої точності вимірювань описуваними АСК вологості [15].

Ці системи використовують напрацювання таких напрямків штучного інтелекту (ШІ) як нечітка логіка, експертні системи, генетичні алгоритми, штучні нейронні мережі [16-25].

Використання інтелектуальних принципів в АСК вологості дозволяє на підставі сигналів з датчика вологості і з датчика температури контрольованої повітряного середовища отримати на виході сигнал про вологість контрольованого повітря, з урахуванням його температури.

Названі інтелектуальні системи називають "softcomputing", підкреслюючи їх відмінність від "hard-computing", яке у можливості оперувати з неповними і неточними даними. Надалі автоматичні системи контролю, побудовані на інтелектуальних принципах, ми будемо називати інтелектуальними системами контролю (ІСК).

Зокрема, зважаючи складного і нечіткого характеру розглянутої функціональної залежності (2.30), при її ідентифікації за спостережуваними значеннями вхідних параметрів, доцільно застосовувати методи нечіткого логічного виводу, що дозволяє істотно спростити вирішувану завдання [22]. Використання інтелектуальних систем контролю вологості на основі нечіткої логіки видається особливо ефективним в силу їх відносної простоти і великих можливостей оперування неповною і нечіткою інформацією.

Нечітка логіка дає можливість досить просто закласти в ІСК вологості апріорну інформацію про умови контролю у вигляді нечітких лінгвістичних

правил. Названі правила за формою близькі до природної мови, що дозволяє ефективно використовувати необхідні знання, отримані від експертів.

Загальна схема обробки нечіткої інформації виглядає наступним чином. Вхідні (фізичні) сигнали інтелектуальної системи контролю вологості переводяться в значення лінгвістичних змінних в блоці, що отримав назву «фаззіфікатор». Далі реалізуються процедури нечіткого логічного виводу за допомогою продукційних правил, що складають базу знань ІБК вологості, в результаті чого формуються вихідні лінгвістичні значення, які переводяться в точні значення результатів обчислень в блоці, званому «дефаззіфікатор». На виході останнього формується сигнал, що несе інформацію про вологість контрольованого повітря. Ця схема може бути покладена в основу так званого нечіткого логічного контролера (НЛК) для інтелектуальних систем обробки нечіткої та неповної інформації [23-25].

2.3 Синтез інтелектуальної системи контролю вологості повітря на основі нечіткого логічного контролера

Нечітка логіка, володіючи розвиненими засобами обробки нечіткої інформації, може бути застосовна при побудові інтелектуальної системи контролю вологості і при налаштуванні її параметрів функціонування. Доцільним представляється будувати ІСК на основі нечіткого логічного контролера згідно функціональної схемою, наведеною на рис. 2.3. Названа схема включає в себе:

- датчик вологості контрольованої повітряного середовища;
- датчик температури контрольованої повітряного середовища;
- пристрій сполучення нечіткого логічного контролера з датчиками вологості і температури повітряного середовища;
- НЛК, організований, програмно в персональному комп'ютері (ПК);
- пристрій індикації, реєстрації та передачі вимірювальної інформації.

Функціональна схема нечіткого логічного контролера приведена на рис.

2.4. Названа схема включає в себе наступні елементи:

- блок фазифікації (фаззіфікатор), що перетворює чисельні значення вхідних сигналів у функції приналежності лінгвістичним змінним системи;
- база правил, яка містить набір нечітких логічних правил "якщо, то";
- база даних, в якій визначено функції приналежності нечітких множин, що використовуються в нечітких правилах;
- блок логічного виводу, що здійснює операції логічного виводу на підставі правил, наявних в базі правил;
- блок дефаззіфікації (дефаззіфікатор), що перетворить результати логічного виводу в чисельні значення вихідного сигналу системи.

Функціонування ІСК вологості на базі нечіткого логічного контролера описується таким чином. З датчика вологості на вхід НЛК інтелектуальної системи контролю надходить вхідний сигнал, що несе інформацію про вологість, контрольованої повітряної середовища, без урахування впливу температури названої середовища. Крім того, на вхід НЛК подається сигнал з датчика температури, що несе інформацію про температуру контрольованої повітряного середовища.

Сигнали з датчиків вологості і температури контрольованої повітряного середовища, що надійшли на вхід НЛК, спочатку піддаються операції фазифікації (перетворення в нечіткі змінні, від англійського слова fuzzy - нечіткий). Названа операція здійснює ся в блоці фазифікації.

При цьому здійснюється зіставлення вхідних фізичних змінних $e(t)$ і $T(t)$, нечітким множинам відповідних нечітких змінних - визначення для кожної нечіткої змінній значення функції приналежності з наявного набору в базі даних.

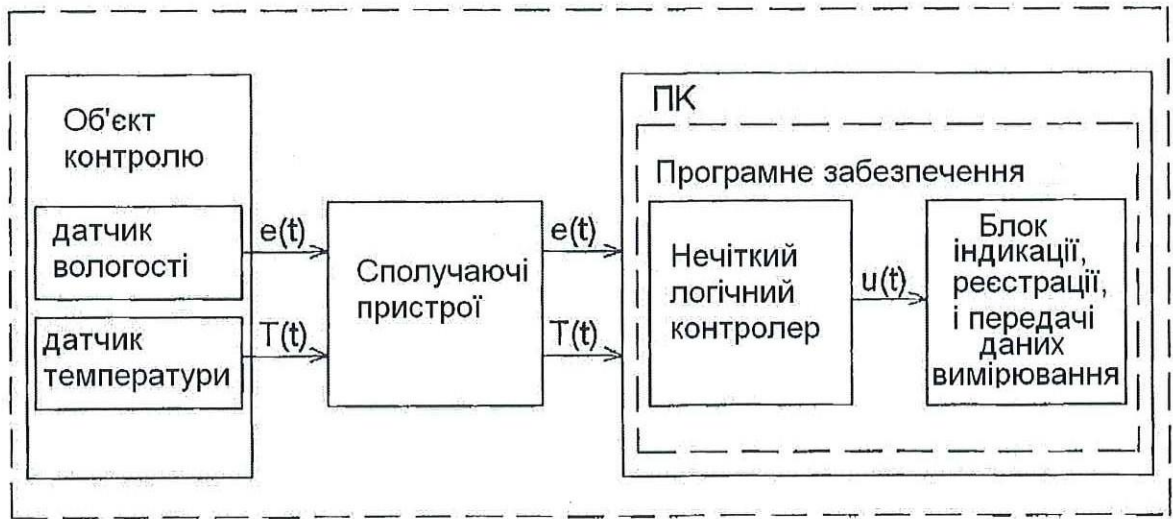


Рисунок 2.3 - Функціональна схема інтелектуальної системи контролю вологості повітряного середовища фармацевтичного складу

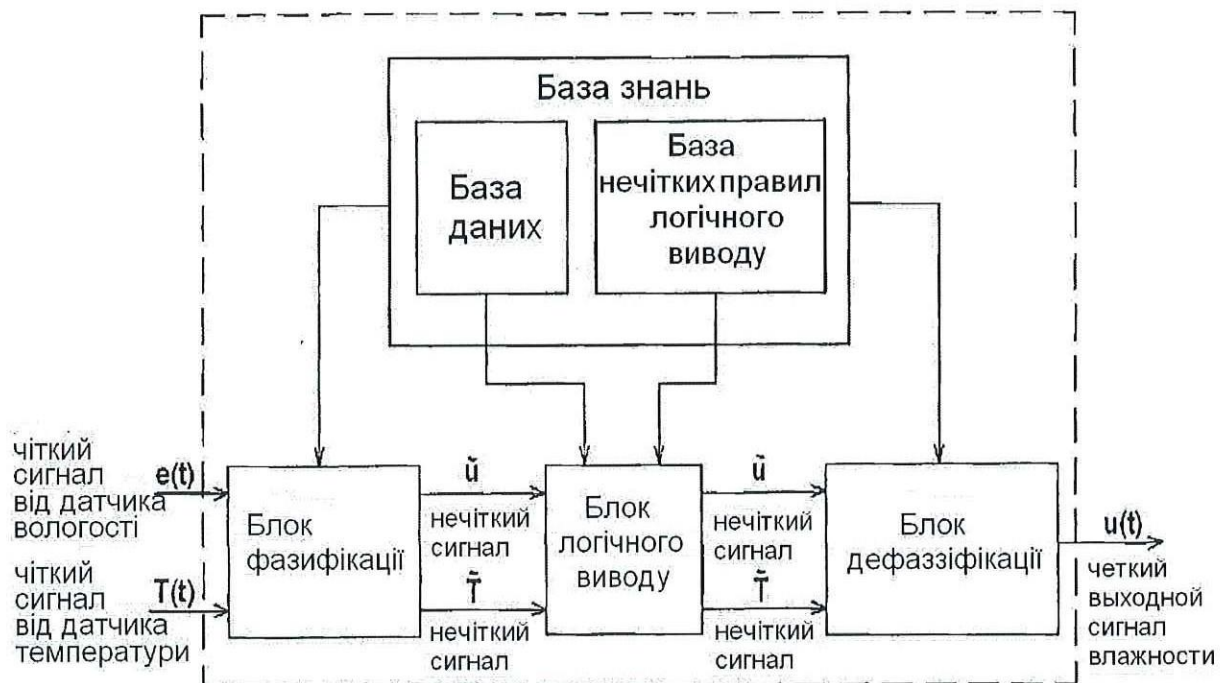


Рисунок 2.4 - Функціональна схема нечіткого логічного контролера

Потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткого логічного виводу, в результаті якого визначається точна вологість контрольованої повітряного середовища з урахуванням температурної

поправки. При цьому в блоці нечіткого логічного виведення вхідна інформація перетвориться по заздалегідь закладеним в базі правил нечітким логічним правилам. Таким чином, в блоці логічного виводу НЛК визначається точна вологість контрольованої повітряного середовища, виражена в нечітких змінних. Далі в блоці дефазифікації нечіткі змінні, що характеризують точну вологість контрольованої повітряного середовища, перетворюються в чіткі змінні, що представляють собою вихідний сигнал з ІСК вологості.

Проаналізуємо більш докладно роботу нечіткого логічного контролера, наведеного на рис. 2.4.

Робота блоку фазифікації. Отже, аналізуючи роботу НЛК ми бачимо що, значну роль у його функціонуванні відіграє перетворення звичайних чітких змінних в нечіткі. названий процес здійснюється в блоці фазифікації. Графічно процес фазифікації показаний на рис. 2.5. Діапазон зміни вхідної змінної $e(t)$ (сигнал з датчика вологості) розбивається на безлічі (підмножини) NL , NM , NS , Z , PS , PM , PL , в межах кожного з яких будується функція приналежності змінної $e(t)$ кожному з множин. На рис. 2.5 функції приналежності мають трикутну форму [25]. Кількість множин вибрано, виходячи з умов розв'язуваної задачі.

Для нечітких множин існує загальноприйнята система позначень: N - негативний (Negative), Z - нульовий (Zero), P - позитивний (Positive); до цих позначеннях додають літери S (Small - малий), M (Medium - середній), L (Large - великий). Наприклад, NL - негативний великий, NM - негативний середній, PL - позитивний великий.

Кількість змінних (термів) може бути будь-яким, проте із збільшенням їх числа істотно зростають вимоги до експерта, який повинен сформулювати правила для всіх комбінацій вхідних змінних.

Якщо величина сигналу $e(t)$ на вході НЛК (рис. 2.4) дорівнює e_1 (рис. 2.5), то відповідне значення нечіткої змінної буде дорівнює PS NL , NM , MS , Z , PS , PM , PL з функціями приналежності $\mu_{(e)}$ зі ступенем приналежності безлічі PS , рівної $\mu(e_1) = 0,82$, або буде одне Z зі ступенем приналежності) $\mu(e_1) = 0,18$.

Ступінь приналежності іншій безлічі (NL , NM , NS , PM , PL) дорівнює нулю. Таким чином, величина сигналу e_1 виявилася перетвореною в нечіткі змінні.

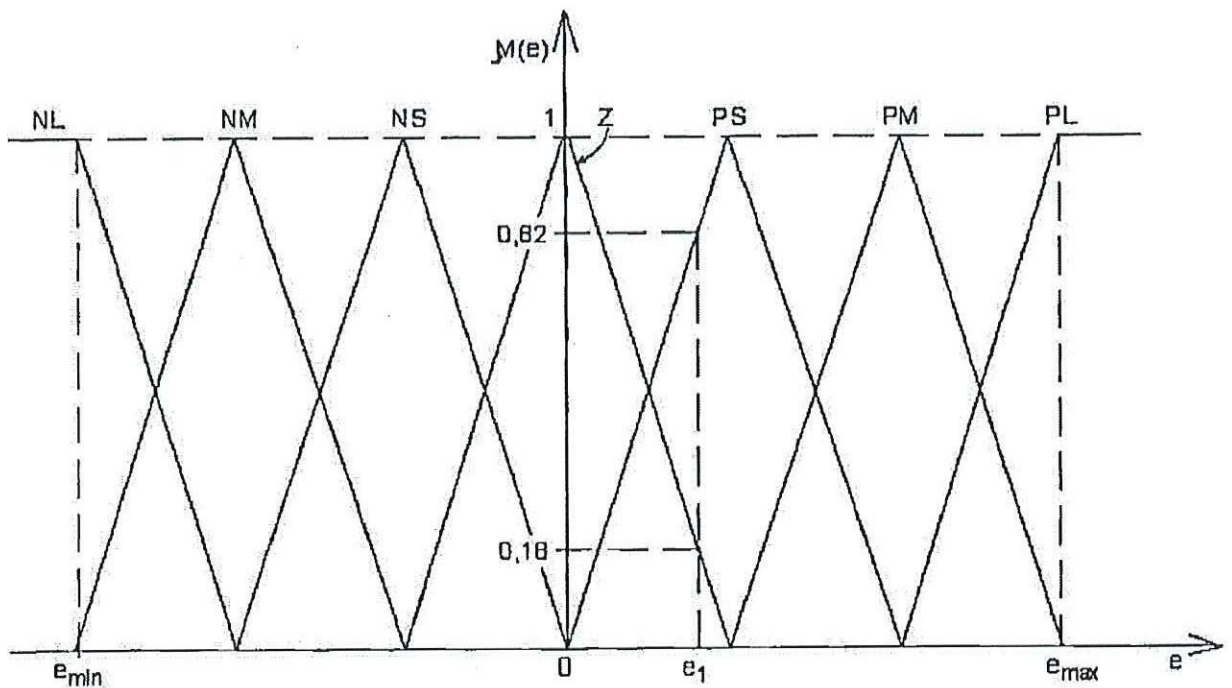


Рисунок 2.5 - Розподіл області зміни параметра

У процесі фазифікації вхідної змінної здійснюється перетворення її чисельного значення у відповідне значення функції приналежності цієї змінної, представленої в системі в лінгвістичному вигляді. Набір значень функції приналежності нечітких змінних знаходиться в базі даних. Таким чином, в процесі фазифікації здійснюється безперервна інформаційна зв'язок між блоком фазифікації і базою знань. Необхідна інформація в базу даних заноситься попередньо, в процесі настройки системи контролю.

Аналогічним чином здійснюється фазифікації другого вхідного параметра $T(t)$ - сигналу з датчика температури контрольованого повітря.

З блоку фазифікації нечіткі вхідні параметри надходять у блок логічного виводу. У названому блоці виконуються операції нечіткого логічного виводу, побудованого на підставі висловлювань оператора, сформульованих у вигляді нечітких логічних правил. Сукупність нечітких правил в нечітких змінних використовується для здійснення нечіткого логічного виводу (рис. 2.4),

результатом якого є вихідний сигнал ІСК вологості. Таким чином, в процесі логічного виводу здійснюється безперервна інформаційна зв'язок між блоком логічного виводу і базою знань.

Нечіткий висновок виконується наступним чином. Припустимо, що області зміни сигналів з датчика вологості $e(t)$ і з датчика температури $T(t)$ розділені на безлічі N, Z, P . Область зміни вихідного сигналу $u(t)$ з ІСК вологості розбита на безлічі NL, NM, Z, PM, PL . Нехай за допомогою експерта вдалося сформулювати такі правила роботи НЛК [26]:

Правило 1: якщо $e(t) = N$ і $T(t) = P$, то $N = Z$.

Правило 2: якщо $e(t) = N$ і $T(t) = Z$, то $N = NM$.

Правило 3: якщо $e(t) = N$ і $T(t) = N$, то $N = NL$.

Правило 4: якщо $e(t) = Z$ і $T(t) = P$, то $N = PM$.

Правило 5: якщо

$$e(t) = Z \text{ і } T(t) = Z, \text{ то } N = Z. \quad (2.31)$$

Правило 6: якщо $e(t) = Z$ і $T(t) = N$, то $N = NM$.

Правило 7: якщо $e(t) = P$ і $T(t) = P$, то $N = PL$.

Правило 8: якщо $e(t) = P$ і $T(t) = Z$, то $N = PM$.

Правило 9: якщо $e(t) = P$ і $T(t) = N$, то $N = Z$.

Наведені правила часто записують в більш компактній табличній формі, приклад якої наведено в таблиці 2.1.

Використовуючи правила, можна отримати значення вихідного сигналу і НЛК, що характеризує вологість контрольованої повітряного середовища, з урахуванням температурної поправки.

Для цього потрібно знайти функцію приналежності змінної і безлічі, утвореному в результаті виконання операцій над множинами, входять у систему правил (2.31).

Операція "І" в правилах (2.31) відповідає перетину множин, а результат застосування всіх правил відповідає операції об'єднання множин [25].

Таблиця 2.1 - Представлення нечітких правил в табличній формі

		$T(t)$		
		P	Z	N
$e(t)$	N	Z	NM	NL
	Z	PM	Z	NM
	P	PL	PM	Z

Функція приналежності для перетину двох множин, наприклад N і P (див. Правило 1) знаходиться як,

$$\mu_{e(t) \cap T(t)} = \min(\mu_{e(t)}, \mu_{T(t)}), \quad (2.32)$$

тобто кожне значення функції приналежності перетину множин дорівнює найменшому значенню з двох, що стоять у виразі (2.32) в круглих дужках [25].

Функція приналежності для об'єднання тих же множин має вид:

$$\mu_{e(t) \cup T(t)} = \max(\mu_{e(t)}, \mu_{T(t)}), \quad (2.33)$$

Функції належності, отримані при перетині чи об'єднанні множин, можуть бути визначені різними способами, залежно від умов розв'язуваної задачі [25].

У цьому сенсі сама теорія нечітких множин теж є нечіткою.

Іноді, використовують операції знаходження функцій приналежності при перетині та об'єднанні множин, що мають аналогію з правилами множення і додавання ймовірностей:

$$\mu_{e(t) \cap T(t)} = \mu_{e(t)} \cdot \mu_{T(t)}; \quad (2.34)$$

$$\mu_{e(t) \cup T(t)} = \mu_{e(t)} + \mu_{T(t)} - \mu_{e(t)} \cdot \mu_{T(t)}.$$

Однак застосування перших двох способів знаходження функції приналежності зазвичай більш переважно, тому що при цьому зберігається більшість правил, розроблених для звичайних множин [25]. Тому в проектуваному в даній роботі НЛК ми будемо використовувати операції знаходження функцій належності при перетині та об'єднанні множин відповідно до виражень (2.32) і (2.33).

Функції належності для кожного з множин NL, NM, Z, PM, PL, що входять до нечітку змінну верб правилах (2.31) виходять у вигляді:

$$\mu_{j2}(u) = \min\{\mu_{u2}(u), \min(\mu_e(j^2)(e(t^2)), \mu_e(j^2)(e(t^2)))\} \quad (2.35)$$

Тут кожне з рівнянь відповідає одному з правил (2.31). Результуюча функція приналежності вихідного сигналу і ІБК вологості, отримана після застосування всіх 9 правил (2.31), знаходиться відповідно до (2.35) як об'єднання функцій належності всіх правил (2.36):

$$\mu_{j2}(u) = \max\{\mu_{u2}(u), \max(\mu_e(j^2)(e(t^2)), \mu_e(j^2)(e(t^2)))\} \quad (2.36)$$

Робота блоку дефазифікації. Тепер, коли отримана результуюча функція приналежності вихідного сигналу і ІБК вологості, необхідно визначити конкретну його значення. названа операція здійснюється в блоці дефазифікації. При цьому використовується імовірнісна інтерпретація теорії нечітких множин. згідно названої інтерпретації значення вихідного сигналу $u(t)$, який характеризує точну вологість контрольованого об'єкта, можна отримати за аналогією з математичним очікуванням сигналу.

2.4 Висновки за розділом

1. Розроблені математичні моделі теплообмінних процесів характеризуються просторово розподіленими параметрами. Зазначені моделі

подані диференціальними рівняннями та передавальною функцією каналу керування температурою повітря.

2. Розроблений метод дозволяє визначати оптимальне розташування та мінімальну кількість датчиків вологості та температури повітря фармацевтичного складського приміщення.

3. Запропонований спосіб ідентифікації залежності вихідного сигналу автоматичної системи контролю вологості повітря від вологості і температури контрольованого повітря, заснований на використанні методу нечіткого логічного виводу. Даний спосіб дозволяє враховувати вплив температури на результати вимірювань вологості повітря, що підвищує точність названих вимірювань.

4. Розроблена інтелектуальна система - нечіткий логічний контролер, що дозволяє здійснювати перетворення неповної інформації за заздалегідь закладеним у неї нечітким логічним правилам, використовуючи при цьому інформацію, заздалегідь занесену до бази даних системи. Крім того, у названій системі є можливість змінювати правила нечіткого логічного виводу шляхом перепрограмування її бази даних, що забезпечує здатність до навчання і адаптивність пропонованої системи.

5. Розроблена функціональна схема та алгоритм роботи інтелектуальної системи автоматичного контролю вологості повітря, здатна компенсувати вплив температури на результати вимірювань. Розроблена система здатна ефективно працювати в умовах змінних параметрів повітряного середовища.

3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ

3.1. Програмні засоби синтезу інтелектуальних систем контролю вологості повітря фармацевтичного складу

У попередньому розділі був запропонований спосіб ідентифікації вихідного сигналу автоматичної системи контролю вологості повітря від вологості і температури контрольованого повітряного середовища, заснований на використанні методів нечіткої логіки при перетворенні неповної інформації.

Розроблено математичну модель нечіткого логічного виводу для інтелектуальної системи контролю вологості повітря. Розроблено принцип побудови і загальні схеми інтелектуальної системи автоматичного контролю вологості повітря фармацевтичного складу, здатної автоматично компенсувати вплив температури на результати вимірювань.

У цьому розділі буде проведено синтез і комп'ютерне моделювання роботи інтелектуальної системи контролю вологості повітря, на основі сучасних програмних засобів ПК. На сьогодні є певна кількість способів синтезу інтелектуальних систем контролю, розроблених на основі методів еволюційного програмування, дерева рішень, кластеризації, множинної лінійної регресії, а також за допомогою генетичних алгоритмів, нейронних мереж і нечіткої логіки [26].

Розроблення моделі на основі теорії нечітких множин (ТНМ) може бути виконано в різних системах програмування, наприклад Delphi, Builder й ін.

Однак, при побудові моделей нечіткого виводу в системах об'єктно-орієнтованих мов часто виникає необхідність залучення програмістів, що створює відомі труднощі. У той же час, існує значне число уніфікованих програмних продуктів за статистикою, аналізу даних і синтезу інтелектуальних

систем (наприклад, SPSS, «Statistica for Windows », MS Excel, PolyAlalyst, Matlab і багато інших), що мають широку область застосування.

З перерахованих вище програмних засобів виділимо PolyAlalyst і Matlab, в першу чергу тому, що в них реалізовані сучасні алгоритми побудови і навчання нейронних мереж і систем нечіткої логіки. В основу PolyAlalyst покладена високоефективна технологія штучного інтелекту Data Mining. При обробці вихідних даних вона дозволяє виявляти багатофакторні залежності і змінювати їх функціональний вид. При хорошому інтерфейсі і ряді інших плюсів однією зі слабких сторін з позиції розвитку PolyAlalyst є закритість цього програмного продукту, що не дозволяє інтегрувати в нього інші методи аналізу, наприклад, статистичні критерії. На відміну від PolyAlalyst, програмне середовище Matlab відкрите, а це дозволяє реалізувати складні алгоритми аналізу даних. Крім того, Matlab має додаток GUI - графічний інтерфейс користувача, що дозволяє створювати гнучкі програми із зручним інтерфейсом. На рис. 3.1 наведена функціональна схема взаємодії стандартного програмного забезпечення (ПЗ) ПК із середовищем Matlab. Крім того, показана схема взаємодії нечіткої логічної системи, створеної в середовищі Matlab, зі стандартним програмним забезпеченням ПК. Нечіткою логічною системою, наведеною на рис. 3.1, є модель інтелектуальної системи контролю вологості повітря, розроблена автором у середовищі Matlab.

Для практичного використання нечітких множин система Matlab забезпечена найбільш розвиненими пакетами Simulink і Fuzzy Logic Toolbox. На рис 3.2 наведена функціональна схема взаємодії програмних пакетів Simulink і Fuzzy Logic Toolbox з основною системою Matlab.

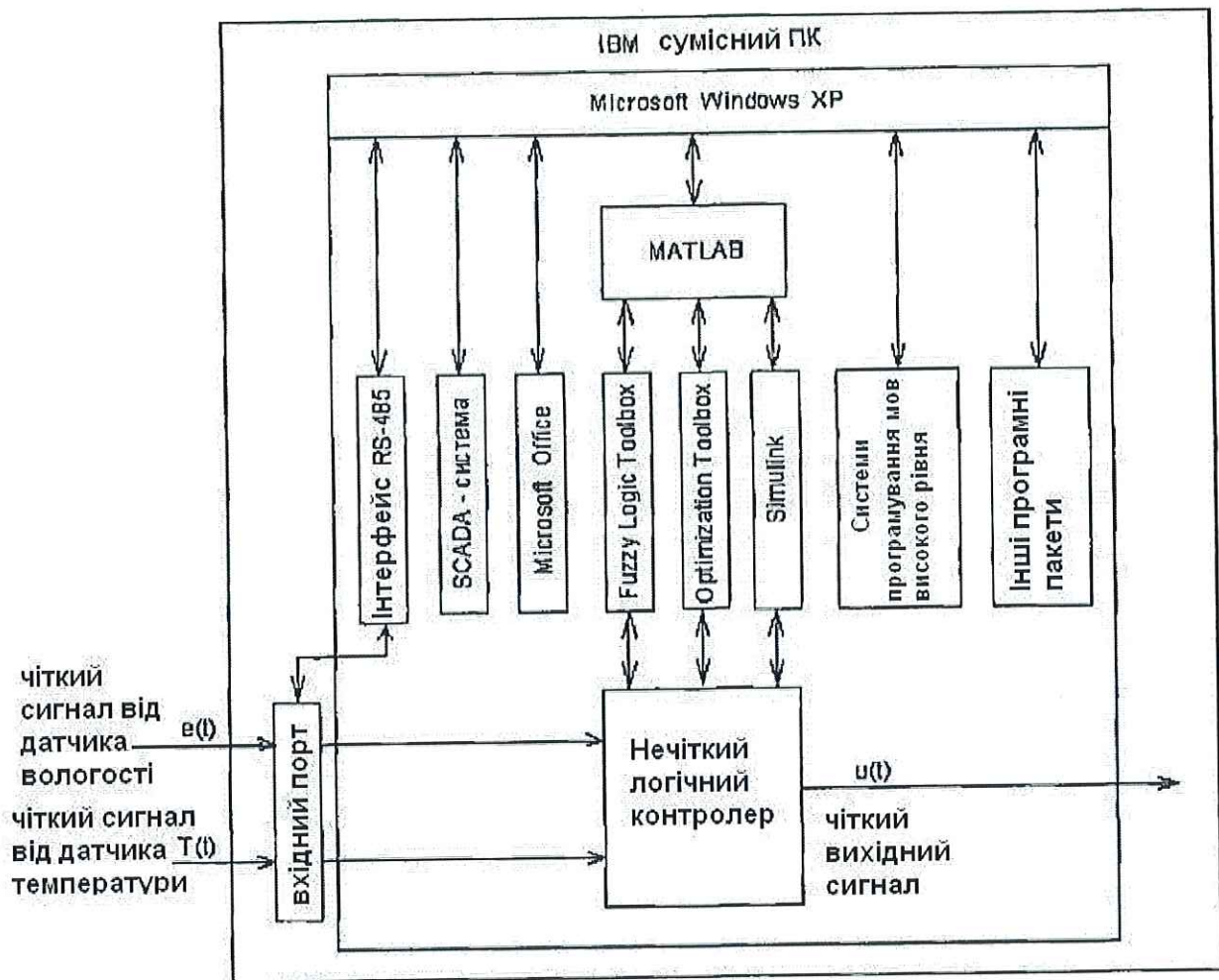


Рисунок 3.1 - Функціональна схема взаємодії нечіткого інтерфейсу

- Fuzzy Logic Toolbox - пакет для роботи з нечіткими множинами;
- Simulink - пакет візуального програмування динамічних процесів;
- User-written M-files Other toolboxes - блок функцій Matlab (M- файлів), які застосовуються при обробці сигналів, при дослідженні систем контролю, систем нечіткої логіки, нейронних мереж і т.д.;
- Real-Time Workshop - блок генерування кодів у реальному масштабі часу (Real-Time Code) і кодів в умовному масштабі часу (Non Real-Time Code). Перераховані коди використовуються для тестування систем нечіткої логіки в середовищі моделювання;
- Target Hardware - досліджувана нечітка система;
- Standalone Fuzzy Engine - зовнішній інтелектуальний інструментарій (нейронна мережа, інструментарій оптимізації і т.д.);

- Fuzzy inference system - система нечіткого висновку (FIS).

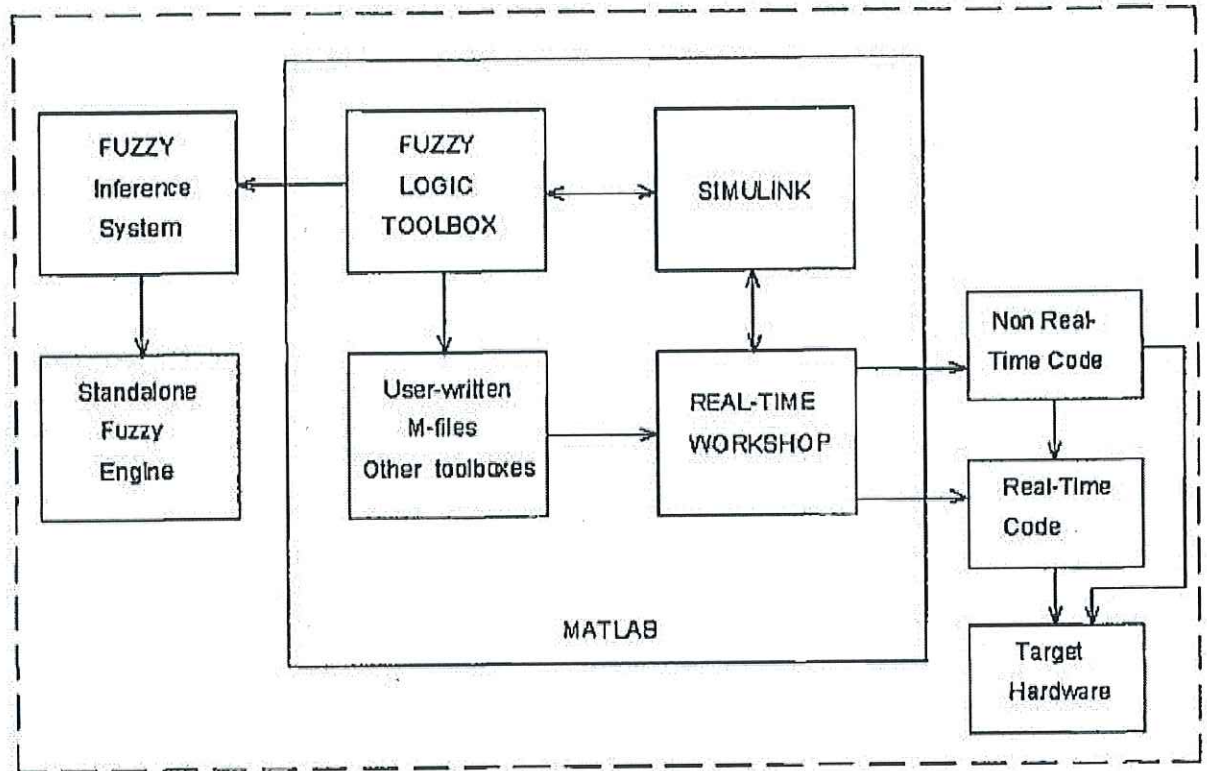


Рисунок 3.2 - Функціональна схема взаємодії Fuzzy Logic Toolbox

Для реалізації всіх концепцій нечіткого виводу - фаззифікації, агрегування, активізації або композиції за висновком, акумулювання правил, дефаззифікації вихідних даних передбачені спеціальні процедури і функції, створені в пакетах моделювання Matlab.

У системі Matlab реалізовані наступні функції нечіткої логіки:

1. вбудованих ФП (функцій належності) для побудови термів нечітких змінних. Найбільш характерні з них:

- Двостороння функція Гауса (gauss2mf);
- Дзвонкувата крива (gbellmf);
- П-подібна функція приналежності (pimf);
- Трапецієподібна функція приналежності (trapmf) і т.д.

2. Функції управління структурою даних системи нечіткого виводу FIS (Fuzzy inference system). Цей набір функцій реалізує:

- додавання і видалення із системи виведення FIS функцій належності, змінних і правил нечіткого логічного виводу;
- дефаззифікації функцій належності;
- виконання нечіткого виводу в FIS;
- генерація поверхні виводу в FIS;
- відображення структури входу-виходу системи нечіткого виводу;
- можливість виведення властивостей нечіткої системи і відображення графіків всіх функцій належності відповідної лінгвістичної змінної;
- завантаження і збереження системи нечіткого виведення на диску.

3. Функції і програми додаткових методів, а також взаємодії з пакетом Simulink.

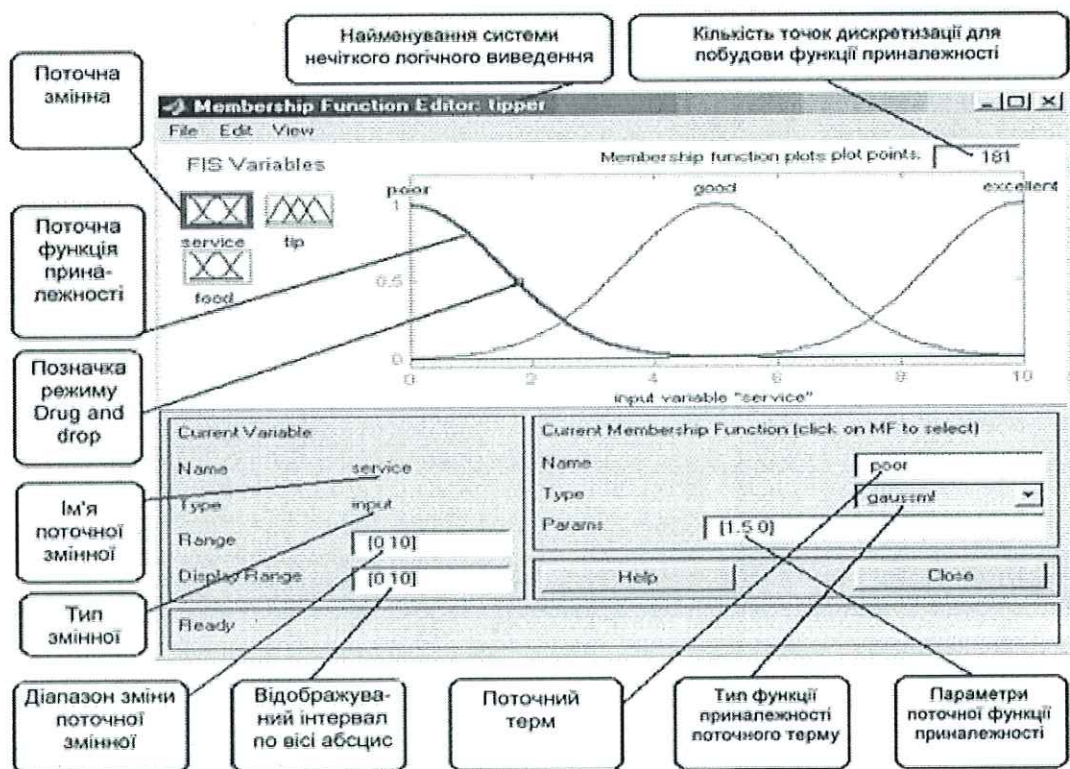


Рисунок 3.3 - Структура системи нечіткої логіки для оптимального визначення параметрів мікроклімату фармацевтичного складу

Систему нечіткого виводу можна розробити, використовуючи пакет Fuzzy Logic Toolbox в інтерактивному режимі або режимі командного рядка. Такий спосіб розробки характеризується великою гнучкістю і простотою реалізації. Особливо ефективним є використання підсистеми візуального проектування динамічних процесів Simulink. Застосування даного інструментарію при проектуванні нечітких систем найбільш підходить для проектуванні нечітких логічних систем, результатом функціонування яких є параметри, що володіють строго певним фізичним змістом. Інтелектуальні системи контролю вологості відносяться саме до такого типу систем.

Кожна система нечіткого логічного виводу в Matlab представляється у вигляді спеціальної структури, яка використовує спеціальний цифровий формат. Дані системи зберігаються структуровано і формуються у вигляді ієрархії класів (рис. 3.3). При цьому всі правила системи нечіткого логічного виводу представляються у вигляді матриці, яка містить одну або кілька рядків (кожному рядку відповідає окреме правило).

3.2. Моделювання інтелектуальної системи контролю вологості та температури повітря в програмному середовищі Matlab

Розробимо в середовищі Matlab модель інтелектуальної системи контролю вологості повітря фармацевтичного складу, що виконує ідентифікацію вихідного сигналу де моделюються системи контролю за її вхідним сигналом методом нечіткого логічного виводу. При цьому модель яка розробляється, повинна автоматично компенсувати вплив температури повітря на результати вимірювань його вологості. Для опису вхідних параметрів модельованої системи контролю вологості повітря задамося наступними лінгвістичними змінними:

- $e(t)$ - вихідний сигнал з датчика вологості повітря;
- $T(t)$ - вихідний сигнал з датчика температури контрольованого повітря.

У процесі описуваного моделювання генерація сигналів $e(t)$ і $T(t)$ здійснювалася за допомогою блоку генерування кодів Real-Time Workshop в реальному масштабі часу і блоку генерування кодів Non Real-Time Code в умовному масштабі часу. Названі блоки генерації кодів входять до складу пакета Matlab. Результатом виконання нечіткого логічного виводу є лінгвістична змінна $u(t)$ - значення вологості контрольованого повітря з урахуванням впливу температури на результати вимірювань.

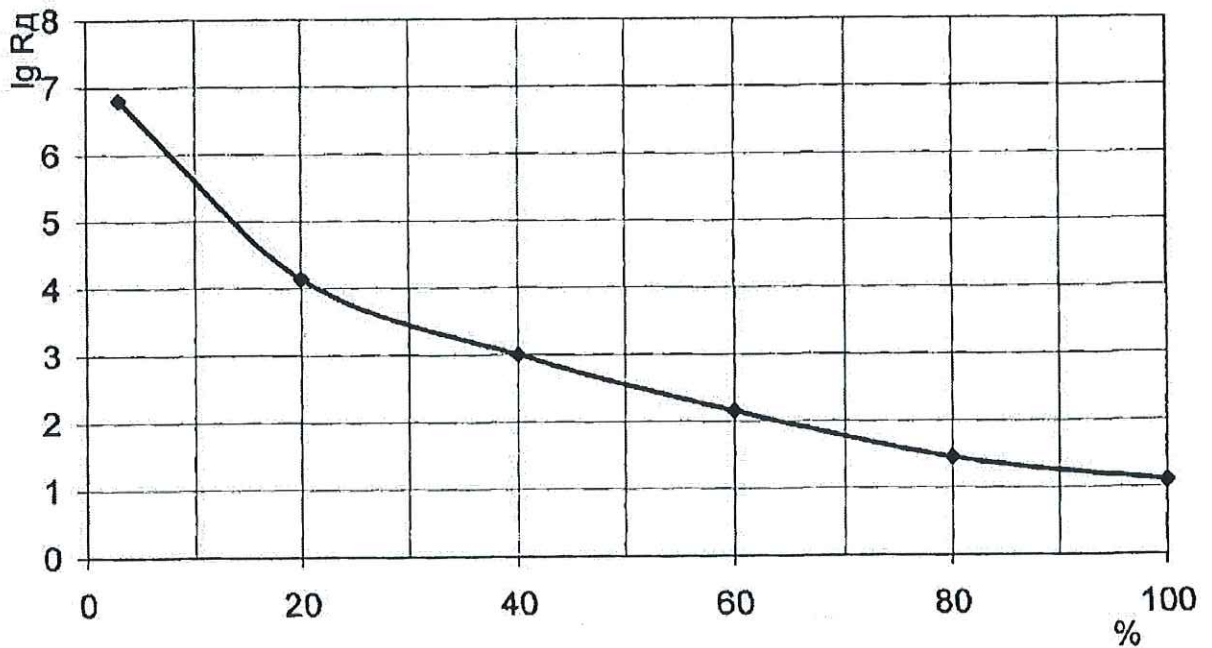


Рисунок 3.4 – Експериментальна логарифмічна залежність електричного опору датчика вологості повітря від величини вологості навколишнього повітря

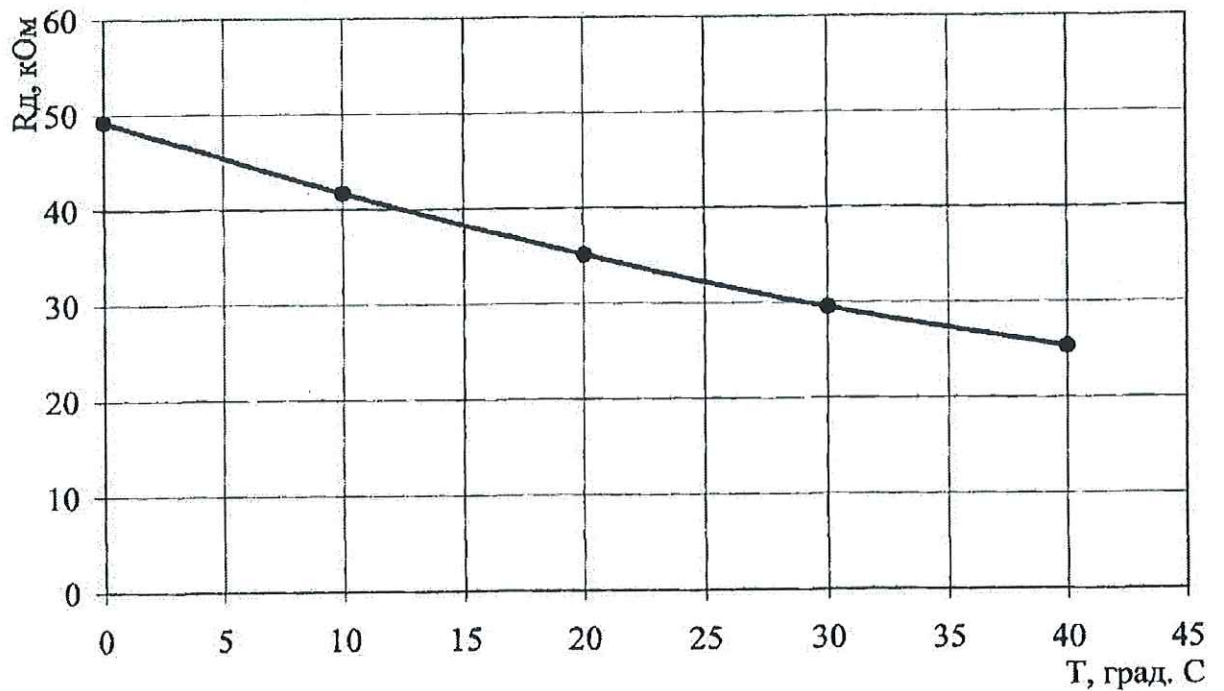


Рисунок 3.5 – Експериментальна залежність електричного опору датчика вологості повітря від величини температури навколишнього повітря

Для моделі нечіткого логічного виводу будується база правил нечіткого логічного виводу у вигляді нечітких лінгвістичних висловлювань.

При складанні названих правил використовується лінгвістична інформація, отримана від експертів. Крім того, при складанні бази правил нечіткого логічного виводу будемо використовувати апріорну інформацію про залежності електричного опору резистивного датчика вологості від вологості і температури контрольованого повітря. В інтелектуальній системі контролю вологості повітря котра розроблена в якості первинного вимірювального перетворювача, застосований резистивний датчик вологості повітря RN7 фірми Galltec + Mella [12].

Відомо [10], що для датчиків вологості повітря, мають резистивний чутливий елемент, залежність між електричним опором датчика і відносною вологістю повітря описується виразом

$$R_a = R_0 \cdot e^{-k\varphi} \quad (3.1)$$

де R_a - електричний опір датчика при даній вологості повітря φ , Ом;

R_0 - електричний опір датчика при вологості повітря, прийнятої за відліковими одиницями, Ом;

φ - відносна вологість контролюваного повітря, %;

b - постійний коефіцієнт, що характеризує конструктивні особливості даного типу датчиків.

На рис. 3.4 наведено графік залежності (3.1). названий графік побудований на підставі експериментальних даних, отриманих автором в процесі дослідження датчика вологості повітря RN7 фірми Galltec + Mella.

Залежність між електричним опором датчика і температурою контролюваною повітряного середовища для описуваного датчика вологості повітря описується виразом [10-12]

$$R = R_0 \cdot e^{-\alpha \Delta T}, \quad (3.2)$$

де R - електричний опір датчика вологості повітря при даній температурі повітря T , Ом;

R_0 - електричний опір датчика вологості повітря при температурі T , прийнятої за відліковими одиницями, Ом;

α - температурний коефіцієнт опору чутливого елемента датчика, $1/^\circ\text{C}$.

Величина - ΔT знаходиться з виразу $\Delta T = T - T_0$.

На рис. 3.5 наведено графік залежності (3.2). названий графік також побудований на підставі експериментальних даних, отриманих у процесі дослідження датчика вологості повітря RN7 фірми Galltec + Mella. Аналіз характеру залежностей (3.1), (3.2) та виду графіків, наведених на рис. 3.4 і рис. 3.5, дозволив побудувати для інтелектуальної системи базу правил нечіткого логічного виводу у вигляді нечітких лінгвістичних висловлювань. Зазначені правила запишемо у наступному вигляді:

1. «Якщо $e(t)$ низький І $T(t)$ низький, ТО $u(t)$ високий»;

2. «Якщо $e(t)$ низький І $T(t)$ середній, ТО $u(t)$ вище середнього»;
3. «Якщо $e(t)$ низький І $T(t)$ високий, ТО $u(t)$ середній»;
4. «Якщо $e(t)$ середній І $T(t)$ низький, ТО $u(t)$ вище середнього»;
5. «Якщо $e(t)$ середній І $T(t)$ середній, ТО $u(t)$ середній»;
6. «Якщо $e(t)$ середній І $T(t)$ високий, ТО $u(t)$ нижче середнього»;
7. «Якщо $e(t)$ високий І $T(t)$ низький, ТО $u(t)$ середній»;
8. «Якщо $e(t)$ високий І $T(t)$ середній, ТО $u(t)$ нижче середнього»;
9. «Якщо $e(t)$ високий І $T(t)$ високий, ТО $u(t)$ низький».

Розглянемо метод двохетапної ідентифікації нелінійних залежностей за допомогою нечіткої бази знань у системі Matlab [17].

Перший етап - структурна ідентифікація - являє собою формування нечіткої бази знань, яка грубо відображає взаємозв'язок між входами і виходом моделі за допомогою лінгвістичних правил «ЯКЩО-ТО». Лінгвістичні правила генеруються експертом, або виходять в результаті екстракції нечітких знань з експериментальних даних.

На другому етапі проводиться параметрична ідентифікація досліджуваної залежності шляхом знаходження таких параметрів нечіткої бази знань, які мінімізують відхилення модельних та експериментальних результатів.

Для ідентифікації нелінійних залежностей за допомогою нечіткого логічного виводу використовуються пакети Fuzzy Logic Toolbox і Optimization Toolbox системи Matlab (рис. 3.1).

Нечіткий логічний висновок - це апроксимація залежності «Входи-вихід» моделі на основі лінгвістичних висловлювань типу «ЯКЩО-ТО» й операцій над нечіткими множинами. Типова структура моделі системи на основі нечіткого логічного виводу, показана на рис. 2.4 і 3.1. У подальшому таку модель будемо називати нечіткою моделлю. Як ми встановили в попередньому розділі, нечітка модель містить такі блоки:

- блок фазифікації, що перетворить входні параметри $e(t)$ і $T(t)$ у нечіткі множини $e(t)$ і $T(t)$, необхідні для виконання нечіткого логічного виводу;

- нечітка база знань, що містить інформацію про залежність вихідного сигналу інтелектуальної системи контролю від її вхідних параметрів ($u(t) = f(e(t), T(t))$) у вигляді лінгвістичних правил;

- блок нечіткого логічного виводу, який на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді нечіткої множини $u(t)$, і відповідає нечітким значенням вхідних змінних $u(t)$ і $T(t)$;

- блок дефаззифікації, що перетворює вихідну нечітку множину $\bar{u}(t)$ в чітке число $u(t)$.

У пакеті Fuzzy Logic Toolbox реалізовані два типи нечітких моделей - типу Мамдані і типу Сугено, що відрізняються форматом бази знань і процедурою дефаззифікації. Припустимо, що ідентифікується нелінійна залежність представлена вибіркою даних «входи-вихід»:

$$(X_r, y_r), r = \overline{1, M}; \quad (3.4)$$

де $X_r = (x_{r1}, x_{r2}, \dots, x_{rm})$ - вектор входів і y_r - вихід в r -парі; M -обсяг вибірки.

Завдання ідентифікації полягає в знаходженні нечіткої моделі F , забезпечує мінімальне значення середньоквадратичної нев'язки R , тобто

$$R = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M [y_r - F(X_r)]^2 \rightarrow \min, \quad (3.5)$$

де $F(X_r)$ - значення виходу нечіткої моделі при значенні входів, заданих вектором X_r .

Вихід нечіткої моделі залежить від її структури - бази знань і параметрів: реалізації логічних операцій, методу дефаззифікації, а також коефіцієнтів лінійних функцій під час виведення правил для моделі типу Сугено. Знаходження структури і параметрів нечіткої моделі, що забезпечують мінімальне значення критерію (3.5), і є завданням ідентифікації.

Крім числових пар «вхід-вихід», існує ще й лінгвістична інформація про ідентифіковані залежності у формі експертних висловлювань. Позначимо через I - вектор параметрів функцій приладдя термів вхідних змінних, через Q - вектор параметрів функцій приладдя термів вихідної змінної моделі типу Мамдані і через B - вектор коефіцієнтів лінійних функцій у висновках правил у моделі типу Сугено. Тоді параметрична ідентифікація зводиться до наступної задачі математичного програмування:

для моделі типу Мамдані - знайти такий вектор (I, Q) , щоб

$$\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M [y_r - F(I, Q, X_r)]^2 \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

для моделі типу Сугено - знайти такий вектор (I, B) , щоб

$$\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M [y_r - F(I, B, X_r)]^2 \rightarrow \min. \quad (3.7)$$

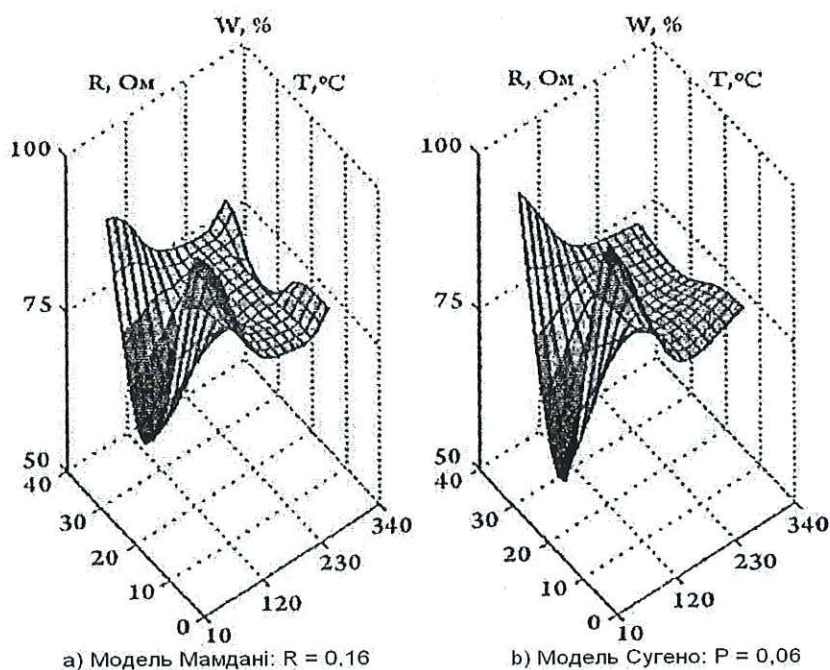


Рисунок 3.6 – Нечіткі моделі: а) типу Мамдані; б) типу Сугено

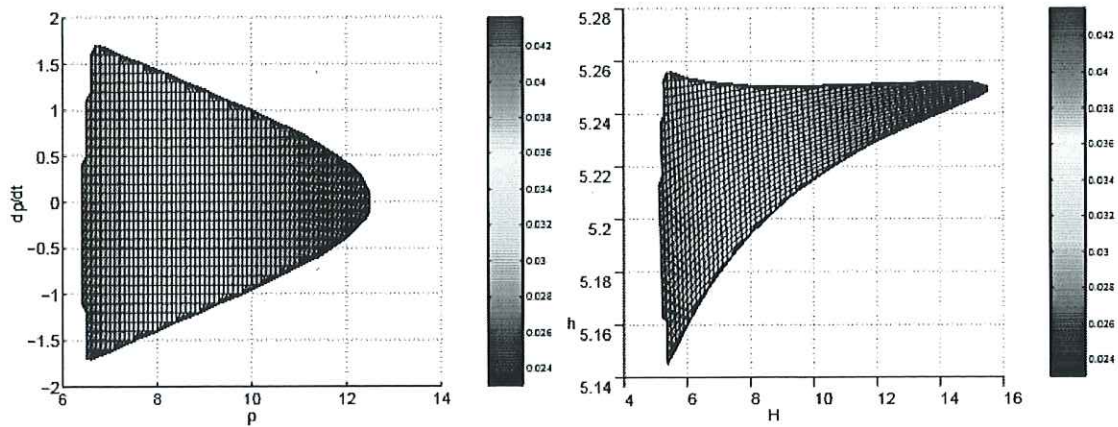


Рисунок 3.7 – Поверхні «вхід-вихід» нечіткої моделі типу Мамдані та Сугено

У наведених вище задачах оптимізації на змінні (I , Q) звичайно накладають обмеження, що забезпечують лінійну впорядкованість елементів терм-множин. Такі обмеження не дозволяють алгоритмам оптимізації зробити, наприклад, терм «Низький» вище терма «Високий» (рис. 3.7).

Розглянемо застосування методу ідентифікації нелінійних залежностей на основі нечіткого логічного виводу з використанням пакетів Fuzzy Logic Toolbox і Optimization Toolbox до процесу контролю вологості повітря кондуктометричним датчиком. Для точної оцінки значення названої вологості потрібно визначити її залежність від електричного опору датчика вологості R і температури повітря T на фармацевтичному складі. У нечіткої моделі опір датчика вологості R характеризується параметром $e(t)$ – сигналом із датчика вологості. Температура повітря характеризується параметром $T(t)$ – сигналом з датчика температури контролюваного повітря. Названі сигнали є функціями часу t . Вихідними даними для ідентифікації є навчальна вибірка, подана у формі (3.4).

У результаті нечіткої ідентифікації отримані залежності, поверхні яких представлені на рис. 3.7. Представлені на зазначеному рисунку залежності отримані при підборі таких значень параметрів R і T , при яких вологість повітря знаходиться межах 50-75%.

Ідентифікація на основі моделі Мамдані. Входи і вихід моделі будемо розглядати як лінгвістичні змінні, значення яких визначаються з наступних

терм-множин. «Низький», «Середній», «Високий» - для $e(t)$ і $T(t)$. «Низький», «Нижче середнього», «Середній», «Вище Середнього», «Високий» - для $u(t)$.

Формалізацію термів здійснимо за допомогою симетричної гаусівської функції приналежності (gaussmf)

$$p(x) = e^{-\frac{(x-h)^2}{2c^2}}, \quad (3.8)$$

де x - елемент універсальної множини; h - параметр функції приналежності (координата максимуму); c - параметр функції приналежності (коефіцієнт концентрації).

Вибір такого типу функції належності обумовлений її достатньою гнучкістю і простотою - вона задається лише двома параметрами. Це дозволяє скоротити розмірність задачі оптимізації, що виникає на етапі параметричної ідентифікації.

На підставі розроблених правил нечіткого логічного виводу, записаних у вигляді (3.3), запишемо дев'ять правил бази знань у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Нечітка база знань моделі типу Мамдані

	$e(t) \rightarrow R(O_i)$	$T(t) \rightarrow T(^{\circ}C)$	$u(t) \rightarrow W(\%)$
1	Низький	Низький	Високий
2	Низький	Середній	Вище середнього
3	Низький	Високий	Середній
4	Середній	Низький	Вище середнього
5	Середній	Середній	Середній
6	Середній	Високий	Нижче середнього
7	Високий	Низький	Середній
8	Високий	Середній	Нижче середнього
9	Високий	Високий	Низький

Правила нечіткої логіки, сформульовані в (3.3) і таблиці 3.1, в робочій області Matlab представляються у вигляді матриці. При складанні названої матриці керуються такими правилами.

Якщо система нечіткого висновку має t вхідних і p вихідних змінних, то відповідна матриця повинна мати $m + p + 2$ стовпців. Перші t стовпців відносяться до вхідних змінних, а наступні p - до вихідних змінних. При цьому кожен стовпець повинен мати номер, який повинен відповідати номеру функції приналежності для вихідної змінної. Стовпець з номером $m + p + 1$ містить вагу, з якої застосовується дане правило. Типово вага дорівнює 1. стовпець з номером $m + p + 2$ містить число 1, якщо в алгоритмі даного правила використовується нечіткий оператор AND (нечітка І), 2 - якщо використовується нечіткий оператор OR (нечітка АБО).

У розроблених нами правилах нечіткого логічного виводу (3.3) використовується нечіткий оператор AND (нечітка І).

Для системи правил нечіткої логіки (3.3) матрицю в робочій області Matlab запишемо в наступному вигляді:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 4 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 2 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

На цьому етап структурної ідентифікації закінчується.

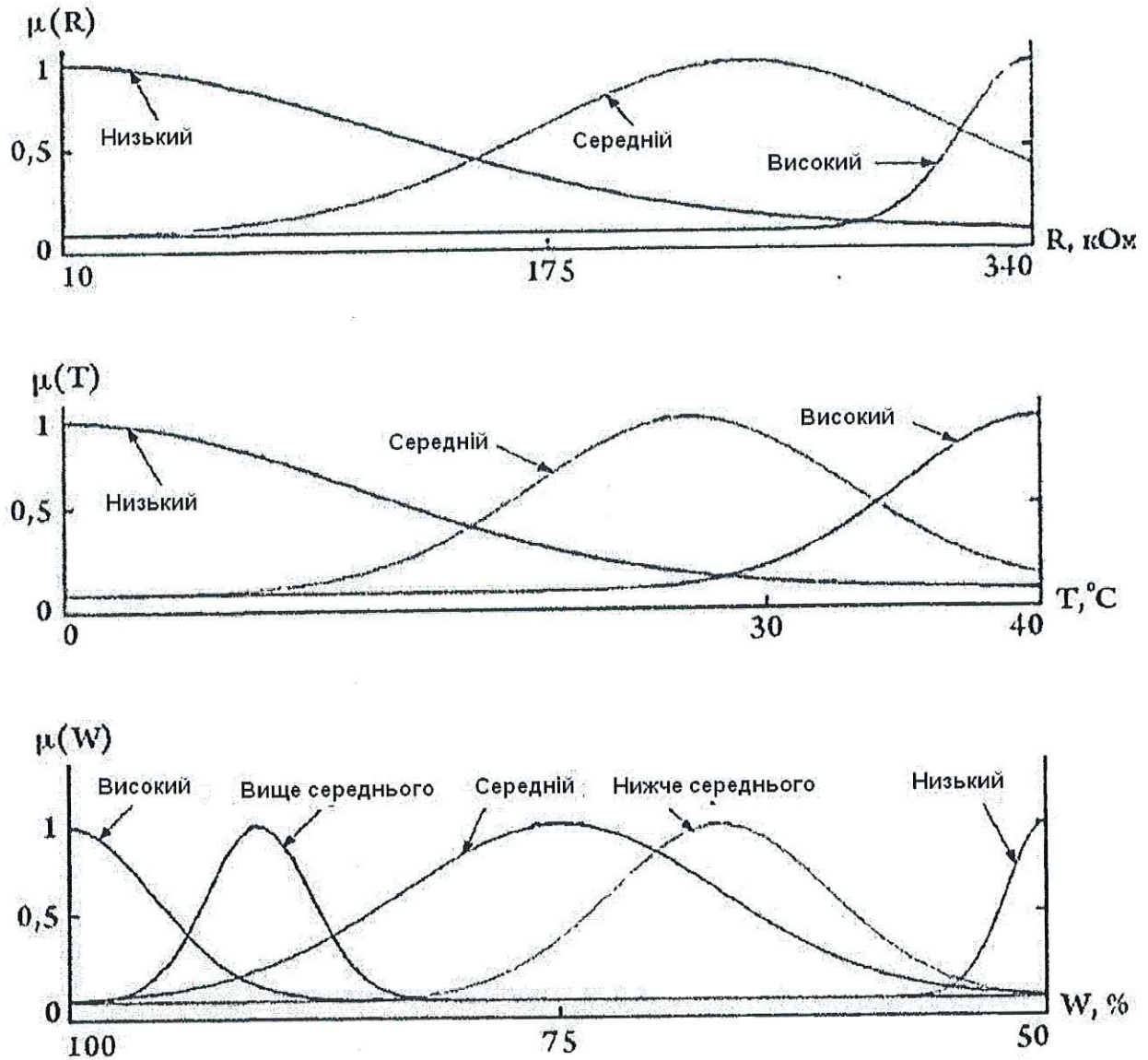


Рисунок 3.8 - Оптимальні функції приналежності змінних нечіткої моделі типу Мамдані

Для проведення параметричної ідентифікації будемо використовувати програму, яка складається з m -сценарію, що викликає функцію нелінійної оптимізації `constr`, і m -функції `goal_fun`, що обчислює нев'язку при заданих значеннях керованих змінних. Кількість керованих змінних дорівнює шістнадцяти: одинадцять коефіцієнтів концентрацій функцій приладдя термів вхідних і вихідних змінних; дві координати максимумів центрів функцій приладдя термів «Середній» вхідних змінних; три координати максимумів

центрів функцій приладдя некрайніх термів вихідної змінної (тобто термів «Нижче середнього», «Середній» і «Вище середнього»).

Координати максимумів функцій приладдя крайніх термів («Низький» та «Високий») не настроюються, так як немає ніяких логічних підстав припускати, що вони будуть відрізнятися від меж діапазонів зміни змінних. У результаті навчання знайдені оптимальні функції приналежності нечітких термів (рис. 3.8).

Поверхня «входи-вихід», яка відповідає налаштованій нечіткій моделі типу Мамдані, показана на рис. 3.7. Нечітка модель оптимізована по навчальною вибіркою зі 100 пар «входи-вихід». Середня квадратична помилка ідентифікації цієї моделі на контрольній вибірці з 200 точок становить 0,16.

Ідентифікація на основі моделі Сугено. У цьому випадку базу знань можна згенерувати безпосередньо з навчальної вибірки. Будемо використовувати дзвонкувату функцію приналежності

$$p(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-h}{c} \right|^{2r}}, \quad (3.10)$$

де c - коефіцієнт концентрації функції приналежності; r і h - відповідно коефіцієнт крутизни і координата максимуму функції приналежності.

Пакет Fuzzy Logic Toolbox дозволяє синтезувати модель типу Сугено і вивчати її шляхом виклику однієї функції `anfis` в наступному форматі:

```
fuzzyinodel = anfis (training_data, Q,  
                    ...  
                    number of iterations).
```

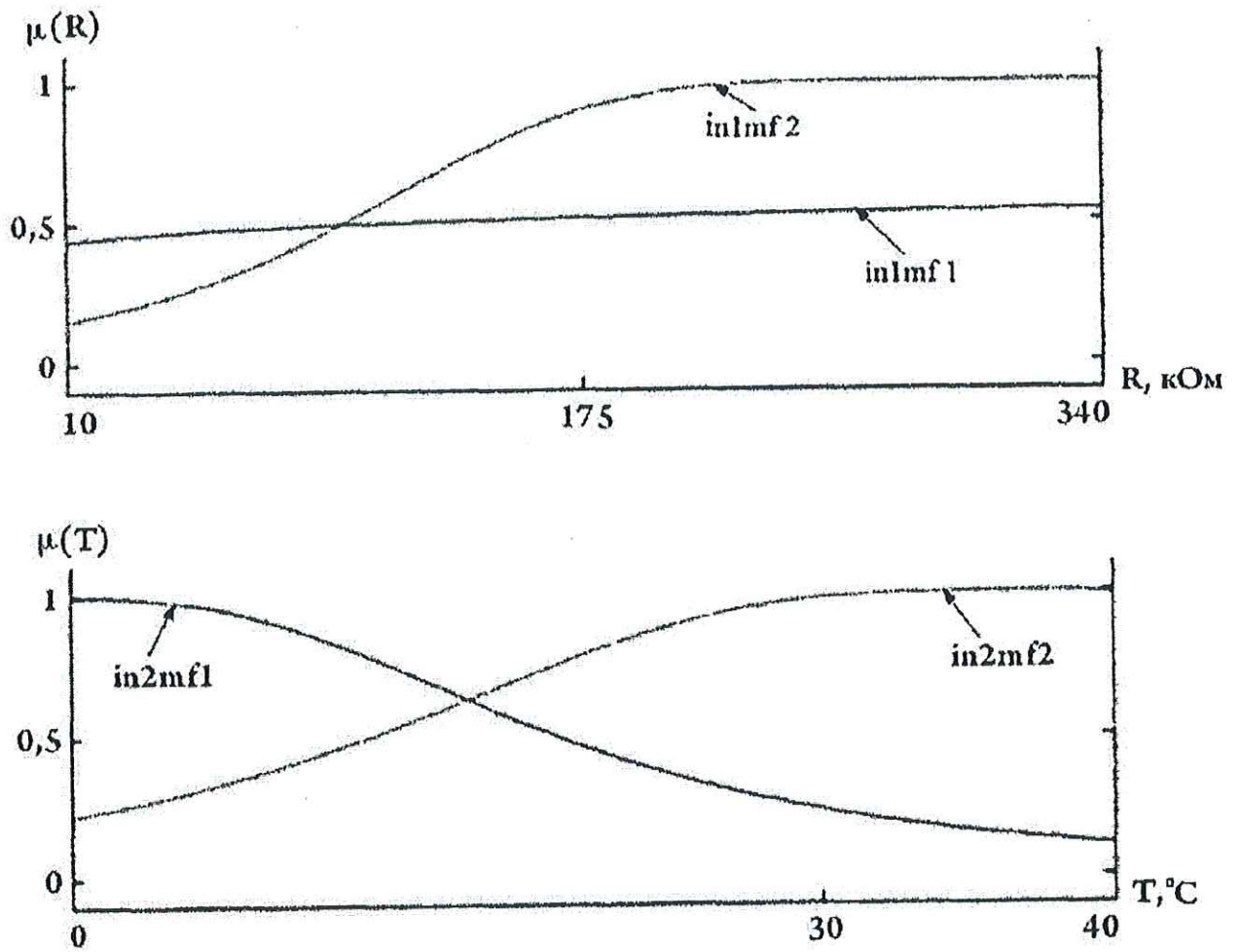


Рисунок 3.9 - Оптимальні функції приналежності нечіткої моделі типу Сугено

У процесі навчання регулювали 24 параметри нечіткої моделі - по 3 коефіцієнта в лінійній функції для кожного з 4-х правил бази знань і по 3 параметра для кожного з 4-х термів вхідних змінних. Така кількість параметрів, що настроюються, є мінімальною для нечіткої моделі типу Сугено з двома входами і одним виходом. У результаті отримана база знань, представлена в таблиці 3.2.

На рис. 3.7. наведена поверхня «входи-вихід», яка відповідає налаштованій нечіткій моделі типу Сугено. Нечітка модель оптимізована за навчальною вибіркою зі 100 пар «входи - вихід».

Таблиця 3.2 - Нечітка база знань моделі типу Сугено

	$e(t) \rightarrow R \text{ (Ом)}$	$T(t) \rightarrow T(^{\circ}\text{C})$	$u(t) \rightarrow W(\%)$
1	In1mf1	In2mf1	$51.4+94.8R-31.7t$
2	In1mf1	In2mf2	$46.8+98.6R-33.5t$
3	In1mf2	In2mf1	$34.3-86.3R-29.1t$
4	In1mf2	In2mf2	$33.6-88.8R-30.4t$

Середньоквадратична помилка ідентифікації цієї моделі на контрольній вибірці з 200 точок становить 0,06. Графіки функцій вхідних змінних показані на рис. 3.9.

Порівняння результатів ідентифікації. Для порівняння результатів були побудовані криві навчання нечітких моделей у вигляді залежності помилки ідентифікації R на контрольній вибірці від розміру навчальної вибірки M (рис. 3.10). Кожна точка на графіку розраховувалася як середнє значення п'яти експериментів з різними навчальними вибірками.

Середня кількість ітерацій навчання моделі типу Мамдані становила 170, а моделі типу Сугено - 40 ітерацій. При невеликих обсягах навчальної вибірки кількість ітерацій зменшувалася з метою уникнення ефекту перенавчання моделі. При малих навчальних вибірках якість ідентифікації істотно вище для моделі типу Мамдані. Це пояснюється тим, що вихідна модель, заснована на експертних висловлюваннях, нечітка модель вже відображає основні особливості ідентифікованої залежності. Із збільшенням обсягу навчальної вибірки кращу якість ідентифікації забезпечує модель типу Сугено. При великих вибірках точність ідентифікації моделі типу Сугено вища, ніж для моделі типу Мамдані.

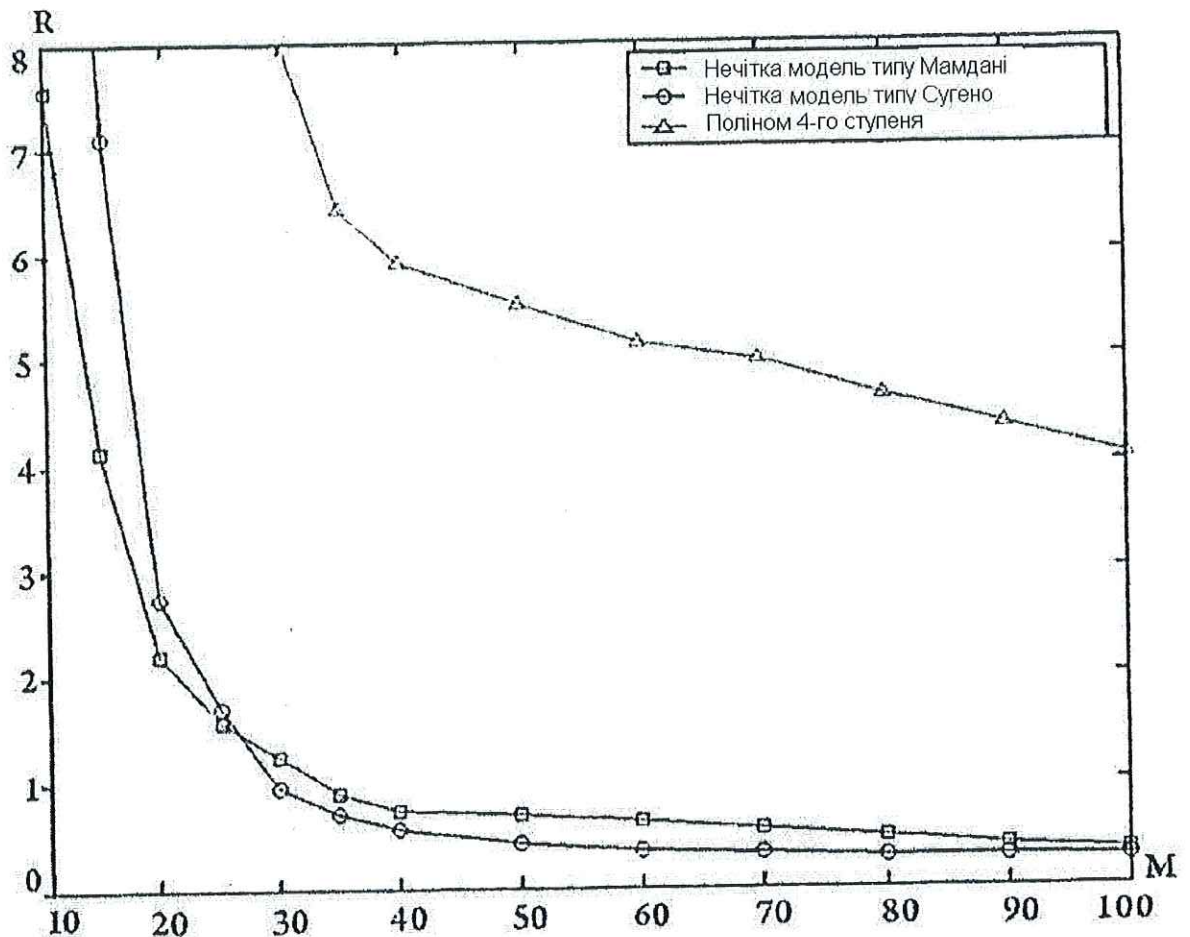


Рисунок 3.10 - Криві порівняння результатів ідентифікації

Однак після навчання модель типу Мамдані залишається прозорою: її параметри - функції приналежності - легко інтерпретуються лінгвістичними термами (рис. 3.8). Для моделей типу Сугено типове явище - складність змістовної інтерпретації її параметрів. Наприклад, важко пояснити фахівцям з прикладних областей базу знань, аналогічну наведеній у таблиці 3.2, не кажучи вже про змістовну інтерпретацію функції належності терму *inlmfl* (рис. 3.9).

На рис. 3.10 як приклад наведена також крива навчання і для апроксимуючого полінома 4-го порядку. Із зазначеного рисунка видно, що помилка ідентифікації для нечітких моделей значно нижча, ніж для традиційних поліноміальних моделей. Таким чином, ми бачимо, що ідентифікація за допомогою нечіткого логічного виводу є ефективним методом автоматизації побудови моделей нелінійних залежностей, які спостерігаються в

системах контролю вологості повітря складського фармацевтичного приміщення.

Крім того, результати комп'ютерних експериментів показують, що використання лінгвістичної інформації у вигляді експертних правил «ЯКЩО-ТО» дозволяє значно знизити необхідний обсяг навчальної вибірки для нечіткої ідентифікації.

Аналіз характеру графіків, наведених на рис. 3.10, показує, що застосування нечітких моделей для ідентифікації складних нелінійних залежностей дозволяє значно підвищити точність систем контролю вологості повітря порівняно з випадками, коли використовуються традиційні поліноміальні моделі. Методи нечіткої ідентифікації складних нелінійних вихідних сигналів вологості в системах контролю вологості дозволяють компенсувати вплив збурювальних факторів.

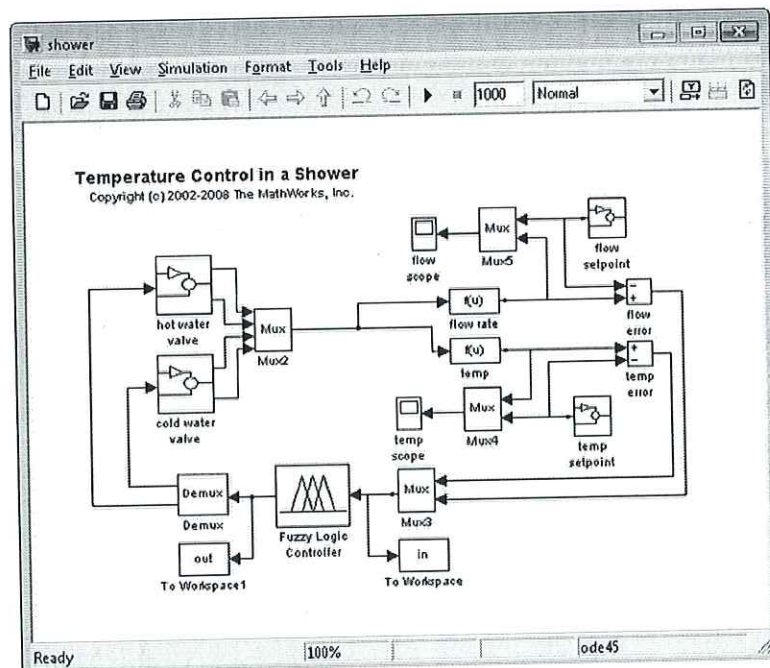


Рисунок 3.11 – Структурна схема нечіткого регулятора температури

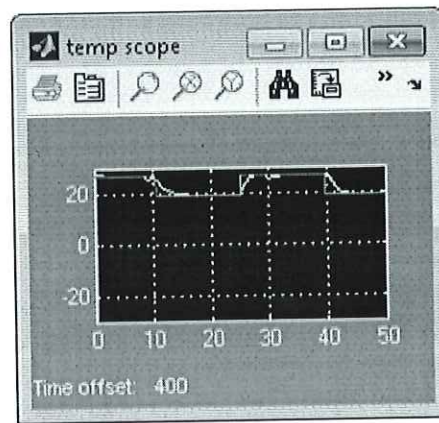


Рисунок 3.11 – Результати моделювання зміни температури фармацевтичного складу

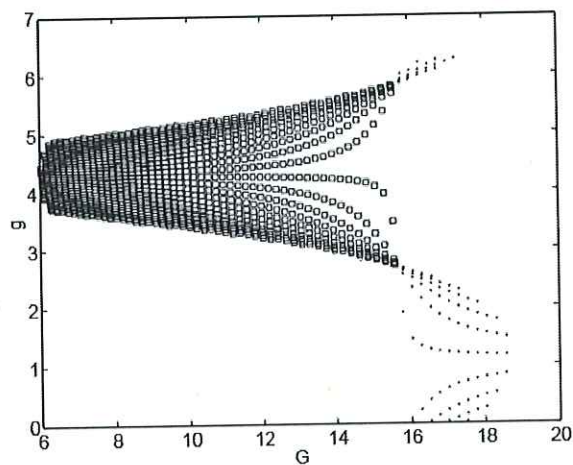


Рисунок 3.12 – Градієнт зміни температурного поля фармацевтичного складу

Крім того, застосування методів нечіткої ідентифікації на основі програмного пакета Matlab дозволяє розглядати первинний вимірювальний перетворювач вологості як абстрактне джерело складної нелінійної функції вологості, не вдаючись у суть фізичних процесів, що протікають у названому перетворювачі. Дана обставина дозволяє створювати універсальні інтелектуальні вимірювальні системи з первинними вимірювальними перетворювачами, заснованими на різних методах вимірювання вологості.

3.3. Висновки за розділом

1. Запропонована оптимальна структура програмного продукту, що дозволяє ефективно розробляти інтелектуальні системи контролю вологості повітря на основі нечіткої логіки. У названому програмному середовищі основним інструментом створення систем нечіткої логіки є програмне середовище Matlab, що включає в себе різні програмні пакети.

2. На основі використання програмного середовища Matlab запропонований метод автоматичної ідентифікації нелінійної залежності вологості повітряного середовища від величин сигналів з датчиків вологості і температури досліджуваного повітря. Даний метод дозволяє компенсувати вплив температури на результати вимірювання, що значно підвищує точність контролю вологості повітря.

3. Проведено експериментальну ідентифікацію залежності вологості повітряного середовища від величин сигналів з датчиків вологості і температури досліджуваного повітря з використанням моделей Мамдані і Сугено, реалізованих у програмному середовищі Matlab.

4. Проведено порівняльний аналіз ідентифікації нелінійних функцій на основі моделей Мамдані і Сугено. У результаті названого аналізу встановлено, що доцільним є реалізація в розробленій інтелектуальній системі контролю вологості повітря ідентифікації на основі моделі Мамдані, оскільки дана модель забезпечує порівняльну простоту введення експертних даних у систему, відкритість моделі, що розробляється, і достатню точність ідентифікації.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ Й ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ

4.1 Структура і функції інтелектуальної системи регулювання вологості і температури повітря фармацевтичного складу

Враховуючи особливу важливість контролю вологості і температури повітряного середовища фармацевтичного складу, розроблена інтелектуальна система контролю зазначених параметрів мікроклімату. Зазначена система контролю заснована на використанні інтелектуальних технологій обробки інформації [23]. Зокрема, при контролі вологості повітря в системі використовується метод нечіткого логічного виводу для ідентифікації вихідного сигналу системи контролю за вхідними сигналами з датчиків вологості і температури контрольованого повітря.

Застосування нечіткого логічного виводу для зазначеної ідентифікації дозволяє автоматично компенсувати вплив температури на результати вимірювання вологості контрольованого повітря. В результаті підвищується точність контролю зазначеного параметра.

При розробці зазначеної системи використані результати, отримані в даній магістерській роботі. Методика застосування нечіткої логіки при контролі вологості повітря описана в розділах 2 і 3 даної магістерської роботи.

Функціональна схема розробленої інтелектуальної системи контролю вологості температури повітря фармацевтичного складу наведена на рис. 4.1. Дана інтелектуальна система являє собою апаратно - програмний комплекс, що включає в себе:

1. ПК - персональний комп'ютер оператора.
2. Модуль вводу аналоговий МВА8.

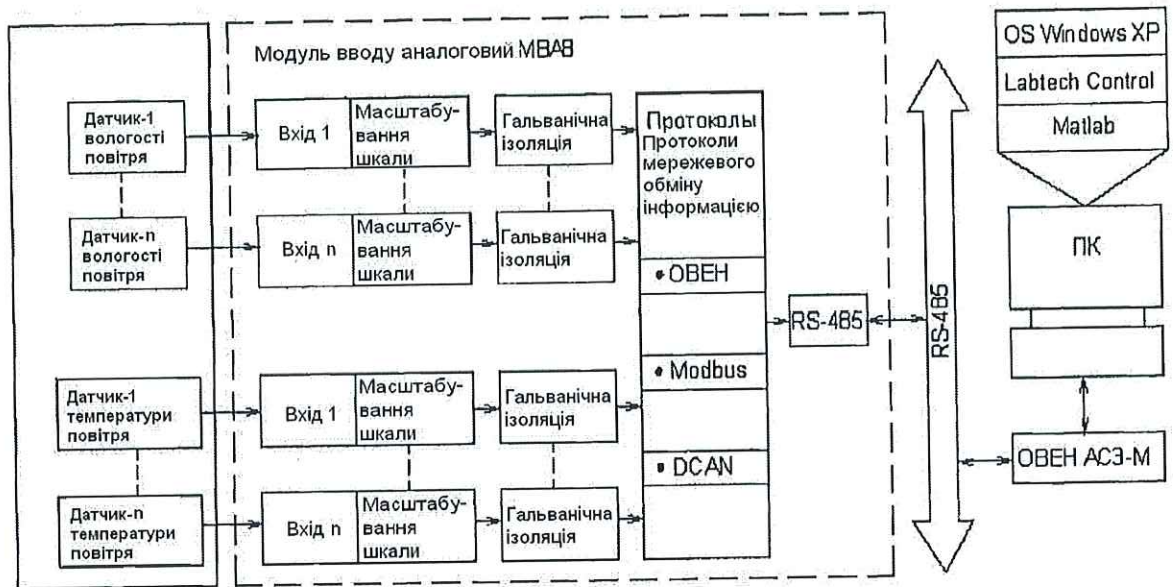


Рисунок 4.1 – Функціональна схема інтелектуальної системи контролю вологості і температури повітря фармацевтичного складу: RS-4B5 - модуль інтерфейсу RS-4B5; ОВЕН АС3-М-адаптер мережі; ПК-персональний компютер оператора (пультівна станція)

3. Адаптер мережі ОВЕН АС3-М.

4. Первинні вимірювальні перетворювачі (датчики) контрольованих параметрів.

5. Програмне забезпечення системи контролю.

Модуль вводу аналоговий МВА8 оснащений вісьмома універсальними входами, до яких у довільній комбінації можуть бути підключені будь-які з наступних первинних перетворювачів (датчиків):

- Термоперетворювачі опору мідні та платинові ТСМ / ТСП 50, 100, 500, 1000 Ом, нікелеві ТСН 100, 500, 1000 Ом;
- Термопари ТХК (L), ТХА (K), ТНН (N), ТЖК (J);
- Активні датчики з уніфікованим вихідним сигналом струму 0 - 5 мА, 4 - 20 мА, 0 - 20 мА або напруги від -50 до +50 мВ, 0-1 В;
- Елементи та пристрої, що мають "сухий контакт" (до кожного входу можна підключити по два таких пристрої);
- Датчики положення засувки з резистивним струмовим виходом.

Модуль має вісім цифрових фільтрів, працюють незалежно один від одного і призначених для придушення зовнішніх перешкод. Параметри цифрових фільтрів задаються при програмуванні модуля.

Модуль оснащений процесором ATmega 128, який здійснюють управління роботою МВА8. Зазначений процесор підтримує стандарти протоколів ОВЕН, RS-485, Modbus, DCON.

Модуль інтерфейсу RS-485. Зазначений модуль забезпечує:

- Конфігурування приладу за допомогою ПК;
- Передачу в мережу поточних значень вимірних величин, а також будь-яких програмованих параметрів.

Система гальванічної розв'язки забезпечує гальванічну розв'язку між ланцюгами датчиків та інформаційною мережею, що підвищує перешкодозахищеність системи контролю.

Вбудований блок живлення (= 24 В) призначений для живлення та підключення активних датчиків.

Модуль вводу аналоговий МВА8 виконує:

- Сполучення та узгодження датчиків відносної вологості і температури повітря з інформаційною мережею системи контролю;
- Цифрову корекцію і фільтрацію вхідних сигналів, а також масштабування показань датчиків з уніфікованим вихідним сигналом (активних датчиків);
- Гальванічну розв'язку між ланцюгами датчиків та інформаційною мережею;
- Підтримку мережевих протоколів ОВЕН, RS-485, Modbus, DCON.

Адаптер мережі ОВЕН АСЗ-М. Через даний пристрій здійснюється підключення модуля введення МВА8 до ПК системи контролю.

Вибір первинних вимірювальних перетворювачів системи контролю. Згідно з розробленим у другому розділі методу оптимізації розташування і кількості датчиків у системі, що розробляється, контролю достатньо наявності по одному датчику вологості і температури повітря. Причому, датчики

необхідно розташувати в таких точках фармацевтичного складу, в яких забезпечується максимальна інерційність каналів управління вологістю і температурою повітря, за допомогою ПД-регуляторів. Дослідження розподілу температури і вологості повітря показують, що для дотримання зазначених вище вимог необхідно датчик вологості розташувати на максимальному видаленні від системи зволоження, а датчик температури на максимальному видаленні від нагрівальних пристроїв. При виборі типів датчиків будемо виходити з того, що згідно технологічним вимогам діапазон зміни відносної вологості повітря лежить в межах 50 - 75%. Діапазон зміни температури зазначеного повітря лежить в межах 0 - 20 ° С. Тиск повітря дорівнює атмосферному тиску.

Вибір датчика відносної вологості повітря. З урахуванням зазначених вище параметрів, контрольованої повітряного середовища будемо підбирати датчик відносної вологості повітря з діапазоном вимірювання, охоплює діапазон 50 - 75%.

Таблиця 4.1 - Основні характеристики датчика НШ3610 (Huawei)

№п/п	Найменування параметра	Величина
1	діапазон вимірювання вологості	0÷100%
2	діапазон робочих температур	-40÷ +85°C
3	напруги живлення	5 В
4	час відгуку	50 сек
5	споживаний струм	2 мА
6	допустиме відхилення характеристик	±0,2%
7	вихідний струм	0,1мА
8	діапазон вихідних напруг	0.5÷4,07 В
9	ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP40
10	ціна за каталогом	837,5 грн

Таблиця 4.2 - Основні характеристики датчика HTR01 (Trafag)

№п/п	Найменування характеристики	Величина
1	діапазон вимірювання вологості	0÷100%
2	діапазон робочих температур	-40÷ +80°C
3	напруги живлення	24 В
4	час відгуку	40 сек
5	споживаний струм	10 мА
6	допустиме відхилення характеристик	±0,2%
7	вихідний струм	4÷20мА
8	діапазон вихідних напруг	0÷10 В
9	ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP 40
10	ціна за каталогом	770 грн

Сумарна похибка каналу вимірювання вологості не повинна перевищувати $\pm 1\%$. За основний критерій оптимальності вибору датчика приймаємо співвідношення «ціна / якість».

Таблиця 4.3 - Основні характеристики датчика RN7 (Galltec + mella)

№п/п	Найменування характеристики	Величина
1	діапазон вимірювання вологості	0÷100%
2	діапазон робочих температур	-40÷ +85°C
3	напруги живлення	24 В
4	час відгуку	30 с
5	споживаний струм	10 мА
6	допустиме відхилення характеристик	±0,2%
7	вихідний струм	4÷20мА
8	діапазон вихідних напруг	0÷10 В
9	ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP 65
10	ціна за каталогом	815 грн

Проведемо порівняння датчиків з пошукових різних фірм на основі запропонованого нами критерію оптимальності вибору.

1. Проаналізуємо технічні характеристики датчика відносної вологості повітря 3610 фірми Huawei [26]. Датчик представляє собою багат шаровий чутливий елемент з чергуванням губчастої пластини і полімерної плівки, що має вологочутливість покриття з хлористого літію. підкладка розглянутого чутливого елемента виконана з кремнію, на якій виконана електронна схема підсилення і нормалізації сигналу. Датчик належить до ємкісного типу. Основні характеристики розглянутого датчика і його ціна наведені у таблиці 4.1.

2. Далі, розглянемо технічні характеристики і ціну резистивного датчика відносної вологості повітря HTR01 фірми Trafag[27]. Названі характеристики і ціна наведені у таблиці 4.2.

3. Наступним датчиком, технічні характеристики якого ми проаналізуємо, є резистивний датчик типу RN7 фірми Galltec + mella [28]. Технічні характеристики названого датчика і його ціна наведені в таблиці 4.3.

Аналіз технічних характеристик і цін датчиків вологості повітря, наведених у таблицях 4.1-4.3 показує, що найвдаліше, співвідношення «ціна / якість» мають датчики HTR01 і RN7 фірм Trafag і Galltec + mella, відповідно. Ціна датчика HTR01 трохи нижче, ніж у датчика RN7, проте сукупність технічних характеристик у датчика RN7 значно вище, ніж у датчика HTR01. Тому в системі контролю мікроклімату застосовуємо резистивний датчик вологості RN7 фірми Galltec + mella.

З урахуванням зазначених вище параметрів, контрольованої повітряного середовища необхідно підбирати датчик температури повітря з діапазоном вимірювання, що охоплює діапазон від 0 до 20⁰С. При виборі датчика температури враховуємо, що сумарна похибка каналу вимірювань температури не повинна перевищувати $\pm 0,5\%$. За основний критерій оптимальності вибору датчика приймаємо співвідношення «ціна / якість». Далі вибір ведемо за методикою аналогічною тій, що була застосована при виборі датчика вологості.

Для розглянутого діапазону температур доцільно використання датчиків температури резистивного типу (термоперетворювачів опору). При цьому відомо, що найбільш простою і надійною конструкцією і відносно малою ціною володіють резистивні датчики з чутливими елементами з технічної платини і міді.

Таблиця 4.4 - Основні характеристики датчика ТСМ-0196

№п/п	Найменування характеристики	Величина
1	діапазон вимірювання температур	-50÷ +150 °С
2	клас допуску за ГОСТ 6651	В
3	нормальна статична характеристика (НСХ) за ГОСТ 6651	100М
4	довжина монтажної частини	80, 100, 120, 160, 250, 500 мм
5	матеріал захисної арматури	12Х18Н10Т
6	допустиме відхилення характеристик	±0,1%
7	ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP55
8	ціна за каталогом	740 грн

Таблиця 4.5 - Основні характеристики датчика ТСП-0395

№п/п	Найменування характеристики	Величина
1	діапазон вимірювання температур	-50÷ +150 °С
2	клас допуску за ГОСТ 6651	В
3	нормальна статична характеристика (НСХ) за ГОСТ 6651	100П
4	довжина монтажної частини	100, 120, 160, 250, 500 мм
5	матеріал захисної арматури	12Х18Н10Т
6	допустиме відхилення характеристик	±0,1%
7	ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP55
8	ціна за каталогом	862.5 грн

Термоперетворювач опору ТСП-0395, що має технічні характеристики близькі до характеристик розглянутого вище датчика ТСМ-0196. Аналіз характеристик наведених у таблицях 4.4 та 4.5 показує, що представлені датчики температури повітря мають однакові технічні характеристики. А оскільки ціна датчика ТСМ-0196 трохи нижче ніж у датчика ТСП-0395, то в проектованій системі застосуємо датчик ТСМ-0196.

Програмне забезпечення інтелектуальної системи контролю має наступний склад:

5-1 Операційна система WINDOWS XP. Названа система являє собою сукупність програм, які забезпечують:

- Загальне управління ПК;
- Управління взаємодією складових елементів ПК між собою і з зовнішніми пристроями;
- Управління всім прикладним програмним забезпеченням, встановленим на ПК.

Використовуване в описуваній системі контролю прикладне програмне забезпечення (пакет SCADA Labtech Control, пакет Matlab) також знаходиться під управлінням системи WINDOWS XP. Операційна система WINDOWS XP зберігається на жорсткому диску ПК.

В якості керуючого програмного забезпечення для реалізованої системи контролю використовується, встановлений на ПК, прикладної пакет SCADA Labtech Control. Даний програмний пакет призначений для реалізації в реальному масштабі часу контрольно-вимірювальних функцій і функцій управління технологічними процесами і являє собою цілісну, інтегровану програмну середу, орієнтовану для використання в НДР, НДДКР і реальних технологічних процесах. Описуваний пакет програм надає всебічні можливості для побудови розподілених систем контролю і управління на базі комп'ютерних і промислових мереж з відкритою архітектурою; моніторингу та управління технологічними процесами; розробки операторських людино-машинних (ММ) інтерфейсів і систем відображення в реальному масштабі часу; аналізу та

обробки вимірювальних даних зі швидкістю їх збору та надходження. Пакет Labtech Control має графічний користувацький інтерфейс, який простий в освоєнні і не вимагає від користувача спеціалізованих знань в області програмування. Пакет Labtech Control забезпечує розробника гнучкими і потужними засобами для реалізації моніторингу та управління, що дозволяють конфігурувати системи контролю і управління з різними частотами дискретизації, типами датчиків і виконавчих механізмів, функціями і алгоритмами управління. Структура програмного пакету Labtech Control представлена на рис. 4.2. Пакет включає в себе характерні для SCADA-комплексу складові частини:

- Build-Time - інтегрована середовище розробки програмних алгоритмів збору, обробки даних і управління на вбудованому об'єктно-орієнтованому графічній мові функціональних блоків ICONview;

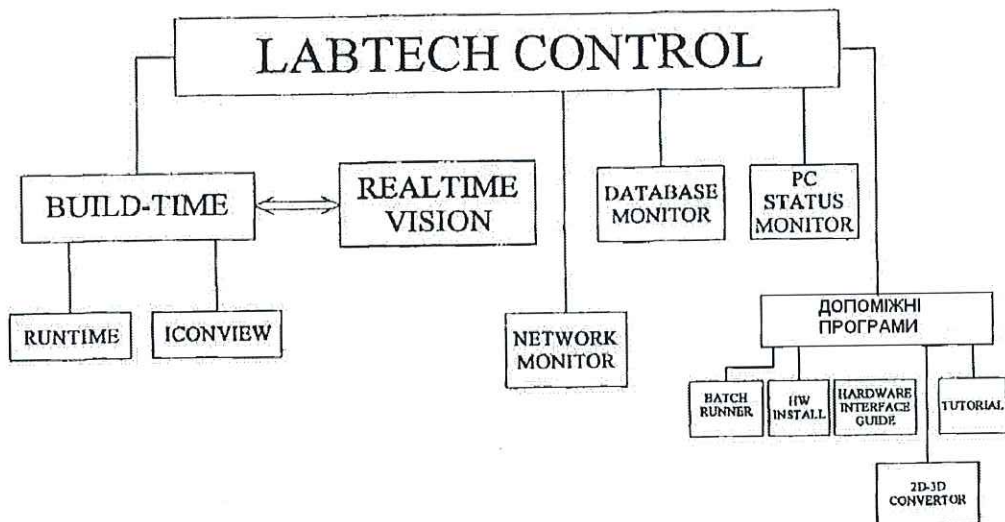


Рисунок - 4.2. Структура програмного пакету Labtech Control

- Realtime Vision - середовище розробки зовнішньої форми ММІ-інтерфейсу, тобто програмованої системи відображення інформації та управління з консолі (клавіатура, «миша») в реальному масштабі часу на екрані комп'ютера;

- Runtime - програма-монітор, що здійснює в реальному часі алгоритми збору, обробки даних і управління, розроблені в середовищі Build-Time.

- Remote Instrument Support Kit - інструментарій програмної підтримки зовнішніх апаратних засобів, що включає в себе програмне забезпечення, що дозволяє конфігурувати два типи інтерфейсу підключення зовнішніх апаратних засобів;

- Database Monitor - програма для моніторингу баз даних;

- PC Status Monitor - програма для моніторингу стану комп'ютера;

- Network Monitor - програма для моніторингу мережі. Крім вище перерахованих основних компонентів, до складу пакету входять інші додаткові службові програми-утиліти:

- Batch Runner - утиліта, що дозволяє запускати на виконання послідовності раніше розроблених програм стратегій збору даних і управління;

- HW Install - програма установки і настройки апаратних засобів;

- HIG - Hardware Interface Guide - довідкова система, що надає інформацію про апаратні засоби різних виробників;

- Tutorial - навчальна програма;

- Multimedia Quick Start - мультимедійна демонстраційна програма.

Пакет Labtech Control дозволяє:

- Виробляти в реальному часі: багатозадачний збір, візуалізацію, реєстрацію даних і керування технологічними процесами в реальному масштабі часу;

-Реалізувати дистанційний контроль технологічних процесів в реальному часі за допомогою будь, що базується на протоколі TCP / IP комп'ютерної мережі, включаючи Intranet і World Wide Web;

- Підтримувати високошвидкісний прямий доступ до пам'яті;

-Здійснювати в темпі надходження інформації, в реальному масштабі часу математичні, статистичні та логічні операції над даними;

- Проводити за допомогою датчиків вимірювання з підвищеною точністю, застосовуючи цифрову фільтрацію даних;

- Виробляти імітаційне моделювання технологічних процесів і систем автоматичного контролю і управління.

Пакет Labtech Control має:

- Об'єктно-орієнтовану програмну середовище розробки, не вимагає безпосереднього програмування;
- Відкриту архітектуру, що дозволяє підтримувати понад 1000 пристроїв введення-виведення, що випускаються різними фірмами виробниками;
- Просунуту процедуру налаштування замкнутих систем з ПД-регулятором.

Детальний опис структури і функцій середовища Matlab, методики синтезу моделей нечіткого логічного виводу і нечітких систем контролю наведено в попередньому розділі даної дисертаційної роботи. Тут ми лише наведемо загальний опис зазначеного програмного пакета.

Програмний пакет Matlab використовується для реалізації нечіткого логічного введення в розробленій системі контролю, при ідентифікації вихідного сигналу вологості по вхідним сигналам з датчиків вологості і температури контрольованого повітря. При цьому в програмній середовищі Matlab вирішуються такі завдання:

- Синтез моделі нечіткого логічного виводу, що реалізує необхідний алгоритм контролю;
- Налагодження моделі нечіткого логічного виводу;
- Реалізація нечіткого логічного виводу, що забезпечує температурну корекцію контрольованої вологості;
- Видача результатів нечіткого логічного виводу у формі зручної для аналізу та подальших перетворень.

4.2 Опис роботи інтелектуальної системи регулювання вологості і температури повітря

У процесі опису структури інтелектуальної системи контролю (рис. 4.1) ми проаналізували функції, що їх складовими її елементами. З урахуванням зазначеного аналізу, опишемо коротко роботу реалізованої системи контролю в цілому. Описувана система контролю працює наступним чином.

Сигнали з датчиків вологості і температури повітря надходять на модуль вводу аналоговий МВА8 системи, де відбувається масштабування зазначених аналогових сигналів, перетворення їх у цифрові коди і передача в інформаційну мережу системи контролю. У складі МВА8 є модуль інтерфейсний RS-485, який забезпечує необхідний протокол зв'язку між МВА8 та інформаційної мережею системи контролю. За інформаційної мережі системи сигнали з датчиків вологості і температури, перетворені в цифрові коди, через адаптер мережі ОВЕН АСЗ-М надходять на комп'ютер оператора (ПК). Після цього, сигнали з датчиків вологості і температури контрольованого повітря надходять на вхід системи нечіткого логічного виводу, синтезованої в середовищі Matlab.

У зазначеній системі здійснюється ідентифікація, шляхом нечіткого логічного виводу, вихідного сигналу вологості по вхідним сигналам з датчиків вологості і температури контрольованого повітря. Описана ідентифікація забезпечує автоматичну температурну корекцію контрольованої вологості повітря.

Застосування нечіткого логічного виводу при контролі відносної вологості повітря розглянутої системою дозволяє автоматично компенсувати температурну похибку і підвищити точність вимірювання зазначеного параметра.

У нечіткому логічному виводі сигнал із датчика температури використовується лише для температурної корекції вимірюваної вологості повітря. При цьому величина вихідного сигналу вимірюваної температури залишається незмінною, щодо сигналу, отриманого з датчика температури

повітря. У результаті на моніторі ПК оператора відображається чисельну значення вологості і температури повітря, що дозволяє оператору об'єктивно оцінювати хід технологічного процесу і при необхідності коригувати його.

При цьому, інформація про вологості і температурі повітря через певний інтервал часу автоматично заноситься в електронний журнал реєстрації параметрів мікроклімату. Наявність зазначеного журналу дозволяє оператору аналізувати характер зміни параметрів мікроклімату в часі і прогнозувати тенденцію зміни зазначених параметрів у перспективі. Крім того, точна оперативна інформація про вологість і температурі повітря передається в систему управління мікрокліматом, що забезпечує високу ефективність її роботи. У зазначеній системі, управління вологістю і температурою повітря здійснюється за допомогою двоканального ПД-регулятора ТРМ151.

Таким чином, розглянута інтелектуальна система контролю здатна ефективно здійснювати оперативний автоматичний контроль вологості і температури повітря, в умовах інформаційної невизначеності та наявності непрогнозованих збурень, характерних для даного виду споруд.

4.3 Оцінка точності розробленої системи регулювання вологості і температури повітря

Дослідження точності каналу вимірювання вологості, розробленої системи контролю, проведемо в два етапи. На першому етапі досліджень оцінимо точність каналу вимірювання вологості, інтелектуальної системи контролю, провівши її емпіричне градуювання. При емпіричному градуюванні і повірці систем контролю їх показання (а) звіряють з результатами визначення вологості зразковим методом (φ). Допущені при градуюванні помилки не є одноразовими, а стають складовою систематичної похибки градуювальної системи контролю. Тому якість виконання цієї операції має велике значення.

Емпіричне градуювання зазвичай повинно вирішувати два завдання:

а) визначення градуовальної залежності $a(\text{ср})$, що задовольняє вимозі найбільш точної відповідності зі статистичними даними;

б) оцінка основної похибки системи контролю вологості. У даній роботі автором проведено градуювання розробленої інтелектуальної системи контролю вологості і температури повітря. Градуювання названої системи проводилася з використанням зразкового стаціонарного цифрового гігрометра MMS-12 фірми PANOMETRIC. Вимірювання вологості контрольованого повітря проводилося при його температурі рівною 20°C . При складанні градуовальних кривих проводять кореляційно-регресійний аналіз результатів вимірювань, що полягає в наступному. Будують кореляційне поле (графічне зображення залежності між значеннями відносної вологості повітря φ і свідченнями системи контролю a). За характером залежності визначають порядок коефіцієнтів регресії.

При правильно поведеному аналізі теоретична лінія регресії, нанесена на кореляційне поле, повинна розташовуватися якомога ближче до експериментальних точок вимірювань.

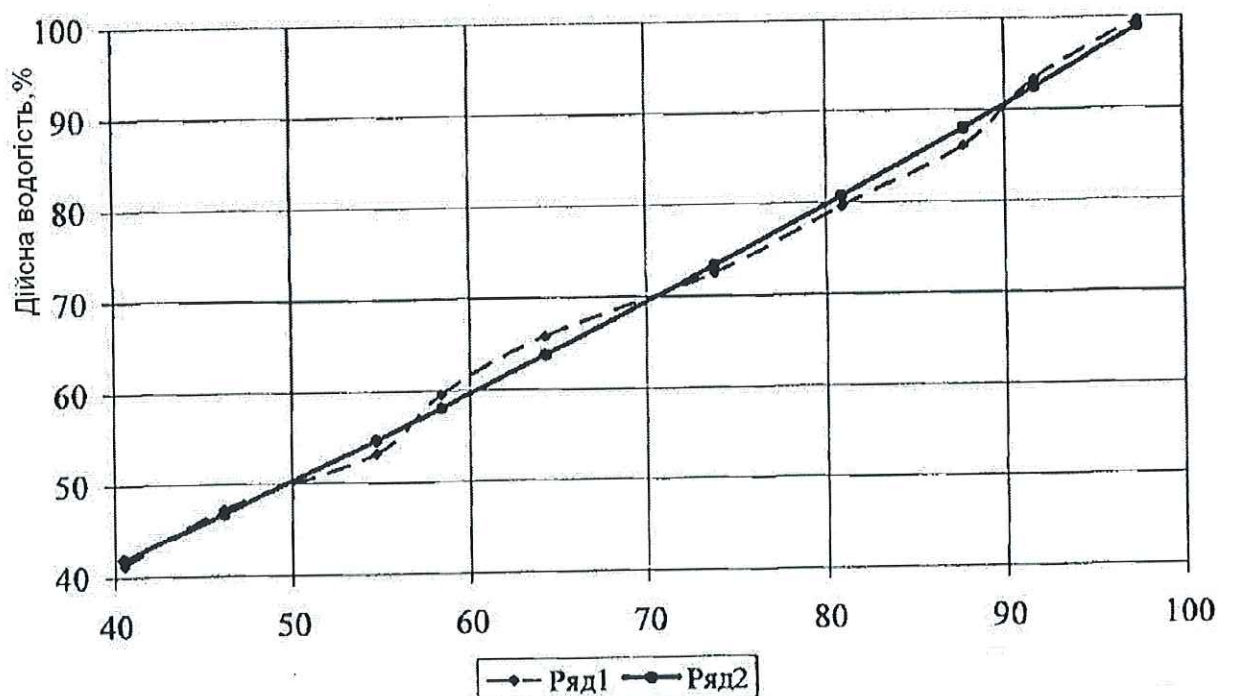


Рисунок 4.3 - Залежність між показаннями інтелектуальної системи контролю вологості та істинною вологістю повітря фармацевтичного складу

Отримана в результаті розрахунку основна похибка системи контролю не повинна перевищувати допустимого значення. В іншому випадку градування системи контролю повторюють.

Таблиця 4.6 - Схема обчислення допоміжних величин рівняння регресії

№п/п	1		n			
φ_i	φ_1		φ_n	$\sum_{i=1}^n \varphi_i$	$\bar{\varphi} = (\sum_{i=1}^n \varphi_i) / n$	
α_i	α_1		α_n	$\sum_{i=1}^n \alpha_i$	$\bar{\alpha} = (\sum_{i=1}^n \alpha_i) / n$	
$\Delta\varphi_i$	$\Delta\varphi_1 =$ $= \varphi_1 - \bar{\varphi}$		$\Delta\varphi_n =$ $= \varphi_n - \bar{\varphi}$	$\sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i$	$\Delta\bar{\varphi} = (\sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i) / n$	
$\Delta\alpha_i$	$\Delta\alpha_1 =$ $= \alpha_1 - \bar{\alpha}$		$\Delta\alpha_n =$ $= \alpha_n - \bar{\alpha}$	$\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i$	$\Delta\bar{\alpha} = (\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i) / n$	
$\Delta\varphi_i^2$	$\Delta\varphi_1^2$		$\Delta\varphi_n^2$	$\sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i^2$	$C_\varphi = (\sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i^2) / n$	$\sigma_\varphi =$ $= \sqrt{C_\varphi}$
$\Delta\alpha_i^2$	$\Delta\alpha_1^2$		$\Delta\alpha_n^2$	$\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^2$	$C_\alpha = (\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^2) / n$	$\sigma_\alpha =$ $= \sqrt{C_\alpha}$
$\Delta\varphi_i \cdot \Delta\alpha_i$	$\Delta\varphi_1 \cdot \Delta\alpha_1$		$\Delta\varphi_n \cdot \Delta\alpha_n$	$\sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i \cdot \Delta\alpha_i$	$C_{\varphi/\alpha} =$ $(\sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i \cdot \Delta\alpha_i) / n$	
$\Delta\alpha_i^3$	$\Delta\alpha_1^3$		$\Delta\alpha_n^3$	$\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^3$	$C_{3\alpha} = (\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^3) / n$	
$\Delta\alpha_i^4$	$\Delta\alpha_1^4$		$\Delta\alpha_n^4$	$\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^4$	$C_{4\alpha} = (\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^4) / n$	
$\Delta\alpha_i^2 \cdot \Delta\varphi_i$	$\Delta\alpha_1^2 \cdot \Delta\varphi_1$		$\Delta\alpha_n^2 \cdot \Delta\varphi_n$	$\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^2 \cdot \Delta\varphi_i$	$C_{2\alpha/\varphi} =$ $= (\sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i^2 \cdot \Delta\varphi_i) / n$	

Знаходимо допоміжні величини, що входять в рівняння регресії другого порядку, за схемою наведеною в таблиці 4.6.

Основну похибку вологоміра розраховуємо у % вологості:

$$\sigma_{i_{\text{м.і}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \varphi_{ai})^2 / (n-3)} = \pm \sqrt{4,2 / (10-3)} = \pm 0,76\%$$

На другому етапі експериментальної оцінки точності каналу вимірювання вологості, досліджувалася залежність показань вимірної вологості від температури контрольованого повітря, з відносною вологістю 75%.

При цьому спочатку досліджувалася зазначена залежність при вимкненому блоці температурної корекції в розробленій системі контролю. На рис. 4.4 (1) наведено графік описуваної залежності. Потім, включалася температурна корекція, розробленої системи контролю, і знову досліджувалася залежність показів вимірної вологості від температури контрольованого повітря. Графік даної залежно наведено на рис. 4.4 (2).

Порівнюючи, графіки, наведені на рис. 4.4 (1) і на рис. 4.4 (2), бачимо, що введення температурної корекції в інтелектуальній системі контролю знижує абсолютну похибку контролю вологості повітря, в середньому на 1%. За підсумками експериментального дослідження каналу вимірювання вологості, розробленої системи контролю вологості та температури повітря, сформулюємо основні метрологічні характеристики даного каналу:

- Діапазон вимірювання відносної вологості повітря від 10 до 100%;
- В діапазоні вимірювань відносної вологості повітря від 40 до 100% похибка вимірювання не більше $\pm 0,76\%$ (вологості).

Експериментальне дослідження каналу вимірювання температури виконано за методикою, аналогічною, тієї, що застосовувалася при дослідженні каналу вимірювання вологості, розробленої системи контролю.

При експериментальному дослідженні каналу температури, в якості зразкового приладу використовувався стаціонарний цифровий термометр Метран-691.

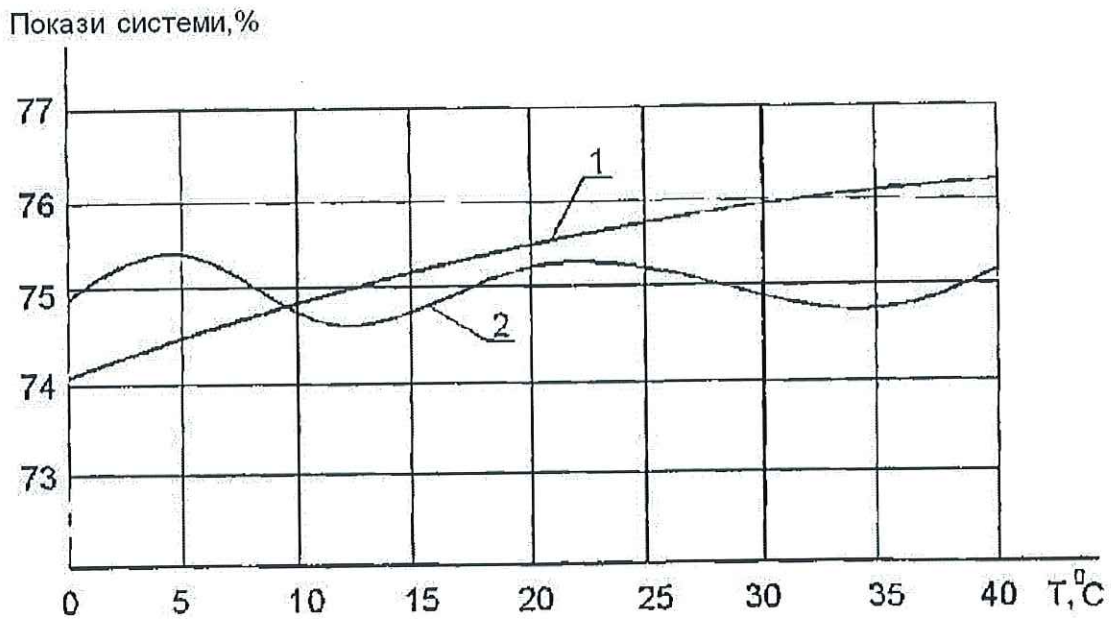


Рисунок 4.4 - Залежність між показаннями інтелектуальної системи контролю вологості та температурою повітря: 1 - показники системи без температурної корекції; 2 - показники системи з температурною корекцією

У процесі описуваного дослідження була досліджена залежність між показниками інтелектуальної системи контролю температури і справжньої температурою повітря, при відносній вологості досліджуваного повітря рівною 75%.

На рис. 4.5 наведено графік зазначеної залежності. В результаті статистичної обробки результатів дослідження отримано рівняння регресії, що описує взаємозв'язок між істинною температурою і показниками розробленої системи контролю.

Крім того, на основі статистичної обробки результатів дослідження, визначена основна похибка каналу вимірювання температури, інтелектуальної системи контролю. Зазначена похибка склала не більше $\pm 0,5\%$ від діапазону вимірювання. При цьому діапазон вимірюваних температур інтелектуальною системою контролю становить від 0°C до 50°C . Таким чином, бачимо, що метрологічні характеристики каналу вимірювання температури розробленої системи не нижче, ніж у відомих аналогічних систем і задовольняють технологічним вимогам до контролю мікроклімату фармацевтичного складу.

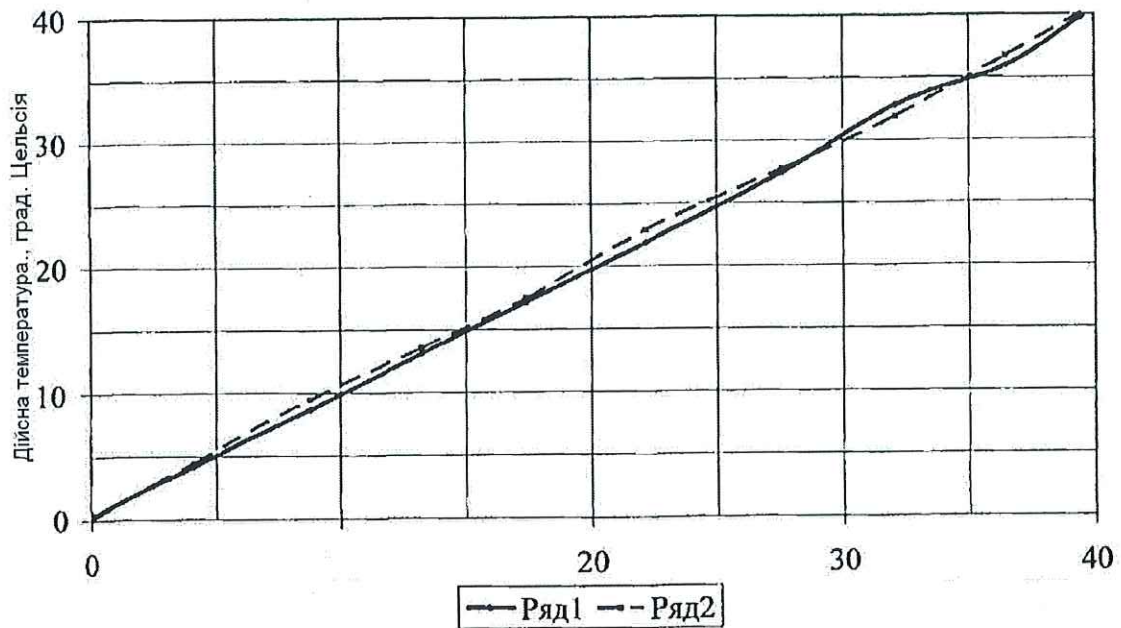


Рисунок 4.5 - Залежність між показниками інтелектуальної системи контролю температури і істинною температурою повітря: де - значення температури, виміряне зразковим приладом; -- показники розробленої системи контролю температури

Отже, за результатами експериментального дослідження точності розробленої інтелектуальної системи контролю бачимо, що похибка контролю вологості повітря описуваної системою, на 1% нижче, ніж у аналогічних систем.

4.4 Висновки за розділом

1. На основі результатів дослідження застосування методів нечіткої логіки в системах контролю розроблена і реалізована інтелектуальна система контролю вологості і температури повітря, здатна ефективно працювати в умовах інформаційної невизначеності.

2. Розроблено структуру прикладного програмного забезпечення, що базується на використанні програмного пакета Matlab. Це дозволяє використання методів нечіткої логіки при контролі вологості і температури повітря розробленою системою контролю.

3. Розроблено методику використання прикладного SCADA- пакета Labtech Control для побудови програмованої системи відображення параметрів технологічного процесу, контрольованих розробленої системою контролю, в реальному масштабі часу.

4. Розроблено методику експериментальної оцінки точності системи контролю. Виконано експериментальну оцінку точності розробленої системи.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналітичне обґрунтування вимог до системи мікроклімату фармацевтичного складу. Встановлено, що для забезпечення умов зберігання лікарських препаратів та зниження енерговитрат необхідний оперативний та високоточний контроль параметрів повітряного середовища. Визначено, що об'єкти контролю цього типу характеризуються значною інформаційною невизначеністю, нелінійністю та нестационарністю процесів.

2. Виконано аналіз існуючих систем контролю мікроклімату. Показано, що традиційні системи автоматичного керування не забезпечують необхідної точності вимірювання температури та вологості, що зумовлює енергетичну неефективність процесів кондиціонування і вентиляції. Зроблено висновок про доцільність застосування інтелектуальних технологій обробки інформації та прийняття рішень.

3. Розроблено математичні моделі теплообмінних процесів у фармацевтичному складі, які характеризуються просторово розподіленими параметрами. Отримано диференціальні рівняння та передавальні функції каналів керування температурою повітря, що дозволило провести подальший аналіз і оптимізацію процесів регулювання.

4. Запропоновано метод визначення оптимального розташування датчиків вологості та температури, який забезпечує мінімальну кількість вимірювальних елементів при збереженні необхідної точності контролю.

5. Розроблено метод ідентифікації залежності вихідного сигналу системи контролю вологості від температури та вологості повітря на основі нечіткого логічного виводу. Застосування даного підходу дозволяє компенсувати вплив температури на вимірювання вологості та підвищити достовірність результатів.

6. Створено інтелектуальний нечіткий логічний контролер, який реалізує процес прийняття рішень в умовах неповної або нечіткої інформації. Контролер

має адаптивні властивості, що забезпечують можливість зміни правил нечіткого логічного виводу та підвищують гнучкість і надійність системи керування.

7. Розроблено функціональну схему та алгоритм роботи інтелектуальної системи контролю вологості повітря. Система здатна ефективно працювати в умовах змінних параметрів повітряного середовища, забезпечуючи стабільність мікроклімату в межах заданих нормативів.

8. Запропоновано оптимальну структуру програмного забезпечення для реалізації інтелектуальної системи керування. Розробка виконана з використанням програмного середовища Matlab та відповідних пакетів нечіткої логіки (Fuzzy Logic Toolbox), що дало змогу реалізувати моделі Мамдані та Сугено для ідентифікації нелінійних функцій.

9. Проведено порівняльний аналіз результатів моделювання з використанням моделей Мамдані і Сугено. Встановлено, що модель Мамдані є доцільнішою для реалізації в розробленій системі, оскільки забезпечує більшу прозорість алгоритмів, простоту введення експертних знань і достатню точність моделювання.

10. Розроблено методику застосування прикладного SCADA-пакета Labtech Control для побудови програмованої системи візуалізації технологічного процесу та моніторингу параметрів у реальному масштабі часу. Це дозволяє здійснювати дистанційний контроль та діагностику роботи системи.

11. Проведено експериментальну ідентифікацію та оцінку точності роботи розробленої системи. Результати експериментів підтвердили ефективність запропонованої методики компенсації впливу температури на вимірювання вологості та покращення стабільності мікроклімату в приміщенні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЖДЕРЕЛ

- 1) Бесєдін, В. М., Коваленко, П. В. Автоматизація технологічних процесів: навчальний посібник. – Київ: КНУТД, 2020. – 312 с.
- 2) Глушков, В. М. Основи автоматизованих систем управління. – Київ: Наукова думка, 2019. – 280 с.
- 3) ДСТУ 4088:2021. Автоматизовані системи. Терміни та визначення понять. – Київ: Мінекономіки України, 2021.
- 4) Козлов, В. І., та ін. Мікропроцесорні системи автоматичного керування. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 284 с.
- 5) Петров, О. І. Теорія автоматичного керування: підручник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 416 с.
- 6) ISO 14644-1:2015. Cleanrooms and associated controlled environments — Classification of air cleanliness by particle concentration. – Geneva: ISO, 2015.
- 7) Горбунов, В. І. Системи автоматизації мікроклімату виробничих приміщень. – Київ: Ліра-К, 2022. – 278 с.
- 8) Бабак, В. П. Математичне моделювання систем керування. — Київ: КНУ ім. Шевченка, 2020. – 340 с.
- 9) Ogata, K. Modern Control Engineering. – 6th ed. – New York: Pearson, 2021. – 912 p.
- 10) Зелений, І. М., Трофимчук, О. С. SCADA-системи в автоматизації технологічних процесів. – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – 210 с.
- 11) Ljung, L. System Identification: Theory for the User. – 2nd ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. – 609 p.
- 12) Пархоменко, С. Г. Мікроконтролери в системах автоматики. – Київ: Кондор, 2020. – 348 с.
- 13) Driankov, D., Hellendoorn, H., Reinfrank, M. An Introduction to Fuzzy Control. – Berlin: Springer, 2017. – 321 p.
- 14) Беляєв, М. Г. Інтелектуальні системи управління на основі нечіткої логіки. – Київ: НАУ, 2018. – 245 с.

- 15) Ross, T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2020. – 512 p.
- 16) Костюк, І. В. Автоматизовані системи керування мікрокліматом фармацевтичних складів. – Харків: НТУ «ХП», 2021. – 192 с.
- 17) Pedrycz, W., Gomide, F. Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing. – Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2007. – 428 p.
- 18) ДСТУ ISO 9001:2018. Системи управління якістю. Вимоги. – Київ: УкрНДНЦ, 2018.
- 19) Zadeh, L. A. Fuzzy Sets. // Information and Control, 1965, Vol. 8, No. 3, pp. 338–353.
- 20) Дьяків, С. М., Крамаренко, Ю. О. Програмні засоби моделювання систем автоматичного керування в Matlab/Simulink. – Київ: НТУУ «КП», 2020. – 236 с.
- 21) MathWorks Inc. MATLAB and Simulink Documentation. – Natick, MA: The MathWorks, 2023. – URL: <https://www.mathworks.com/help/>
- 22) Пашко, С. О., Козак, В. С. Енергозбереження в системах вентиляції та кондиціонування. – Київ: Аграрна наука, 2019. – 176 с.
- 23) Khalil, H. K. Nonlinear Systems. – 3rd ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. – 764 p.
- 24) Horowitz, I. M. Synthesis of Feedback Systems. – New York: Academic Press, 1963. – 344 p.
- 25) Левченко, Р. І. Проектування систем автоматизації технологічних процесів у SCADA-середовищах. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 228 с.
- 26) IEC 61131-3:2013. Programmable Controllers – Part 3: Programming Languages. – Geneva: IEC, 2013.
- 27) Бутенко, П. О. Мікроклімат у виробничих приміщеннях: контроль і автоматизація. – Київ: КНЕУ, 2017. – 184 с.

ДОДАТКИ

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Удосконалення системи автоматичного керування
мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки
Полтавщини»**

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

О.А. АБАКУМОВ

Керівник:

Г. М. КОЖУШКО

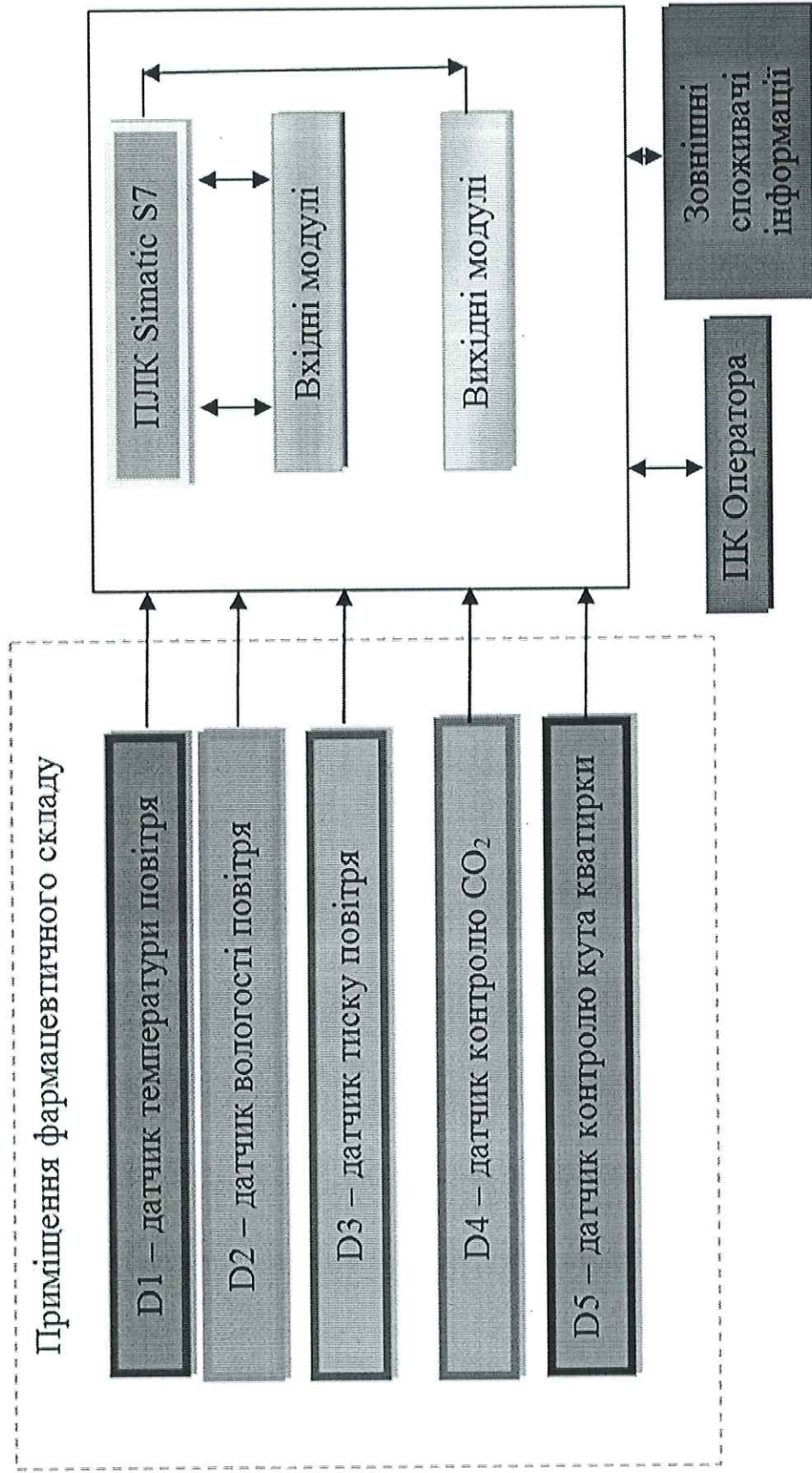
Д.Т.Н., професор

Полтава 2025

Метою ~~магістерської роботи~~ є удосконалення системи автоматичного керування мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини» шляхом модернізації її апаратно-програмної структури та впровадження адаптивних алгоритмів регулювання, що забезпечують оптимальні умови зберігання лікарських засобів відповідно до вимог належної дистрибуторської практики.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного керування мікрокліматом фармацевтичного складу ТОВ «Ліки Полтавщини».

Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби удосконалення системи керування температурно-вологісними параметрами з метою підвищення її точності, стабільності та енергоефективності.



Функціональна схема автоматичної системи
контролю параметрів мікроклімату з
використанням ПЛК

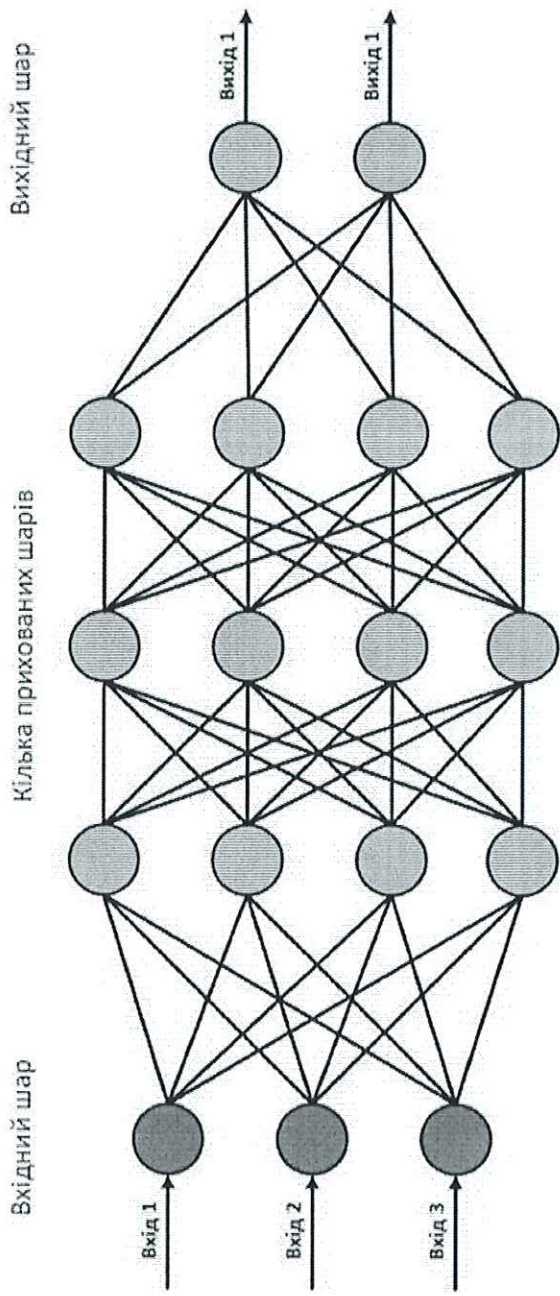
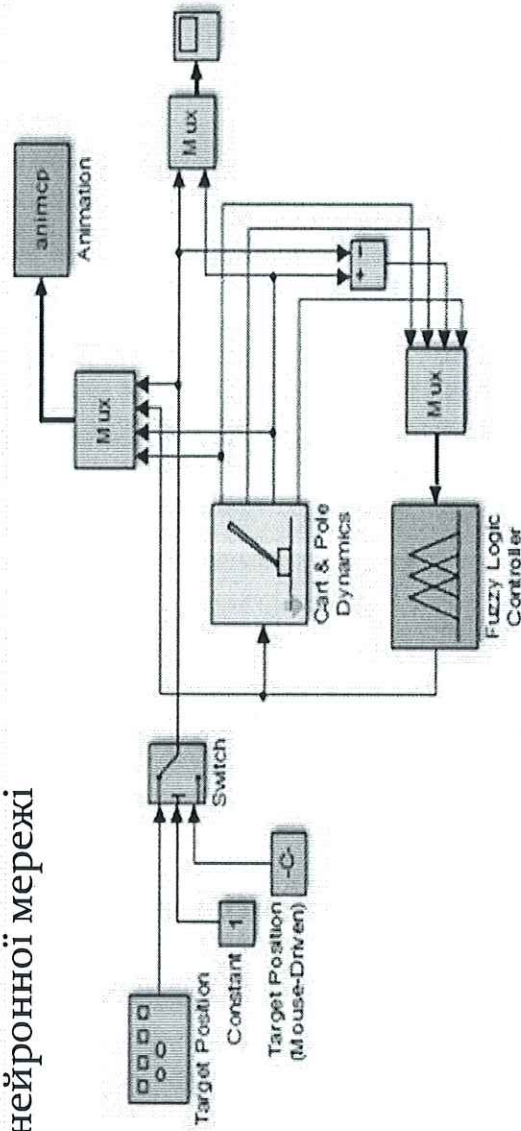
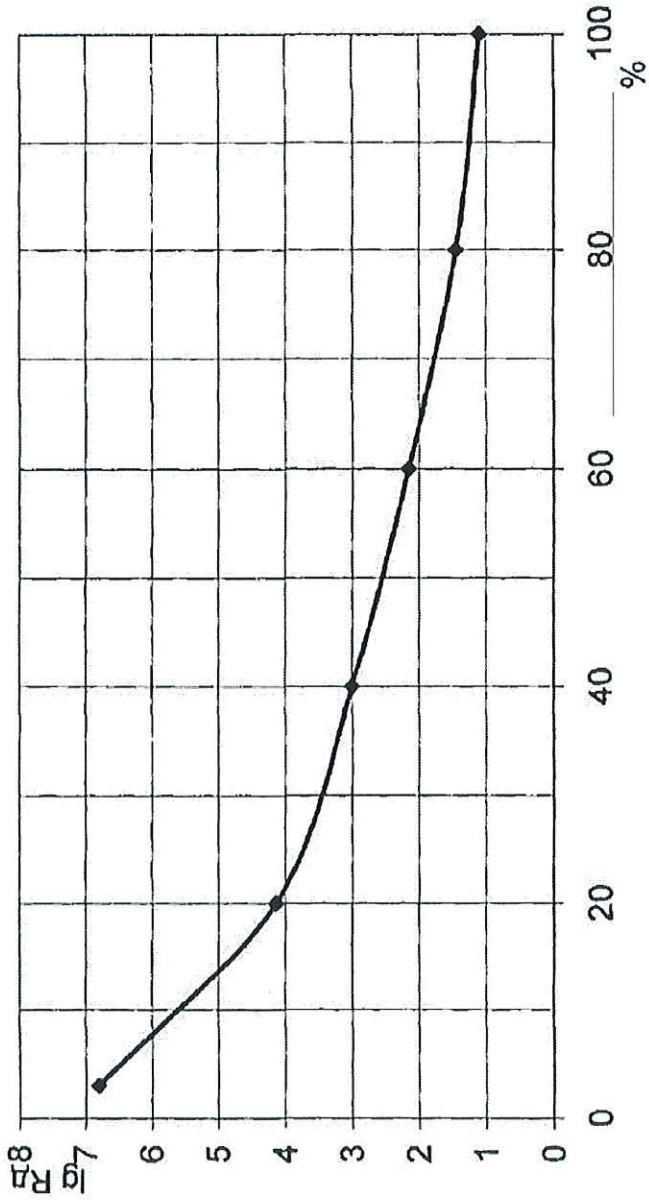


Схема пошуку критеріальних мінімумів за допомогою
нейронної мережі

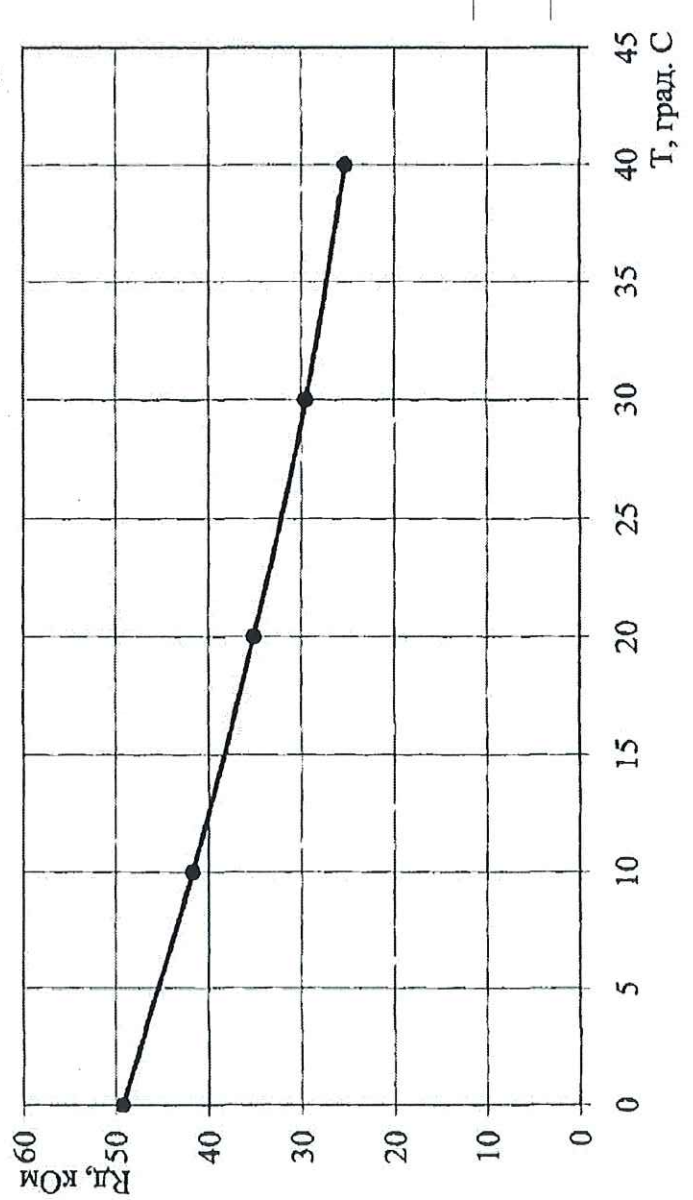


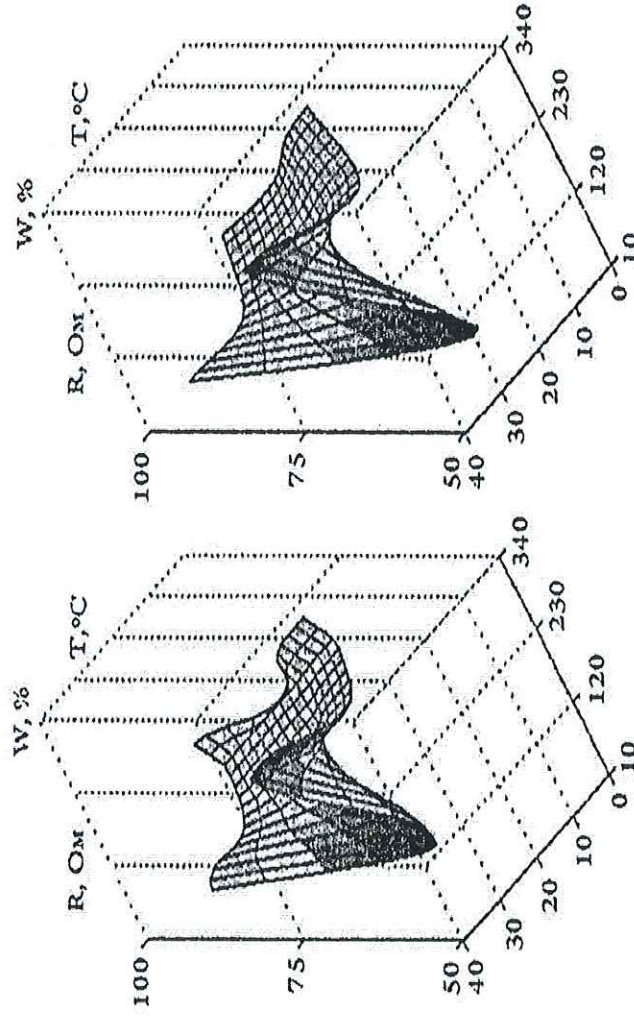
Ілюстрація можливостей розвинених пакетів Simulink і Fuzzy Logic
Toolbox для контролю мікроклімату фармацевтичного складу

Експериментальна
логарифмічна залежність
електричного опору
датчика вологості повітря
від величини вологості
навколишнього повітря



Експериментальна
залежність електричного
опору датчика вологості
повітря від величини
температури
навколишнього повітря

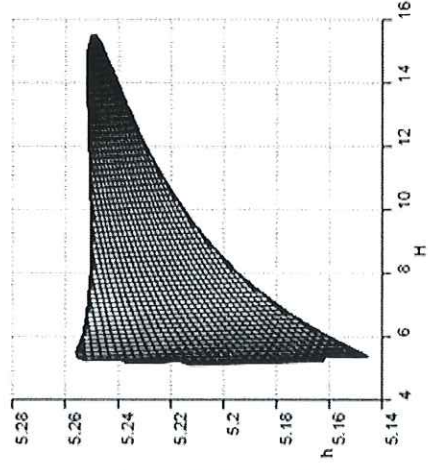
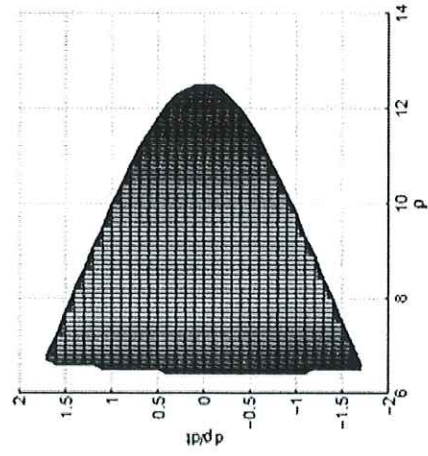




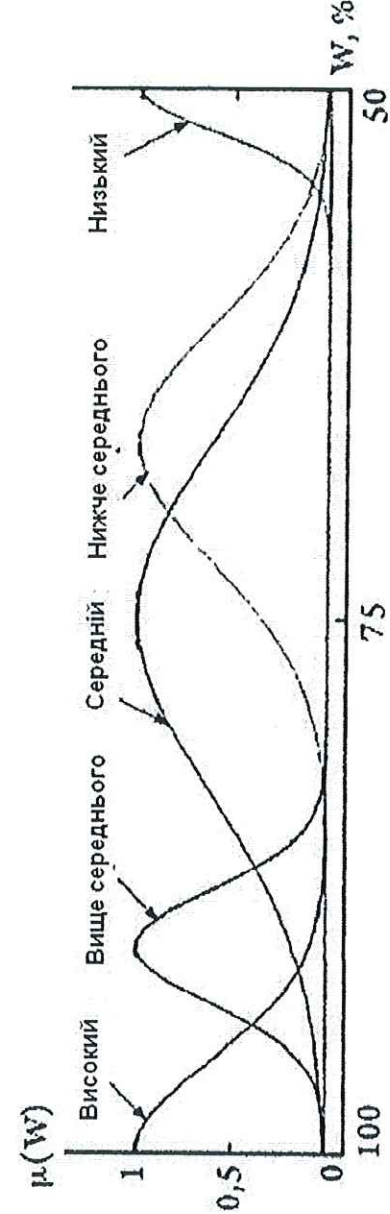
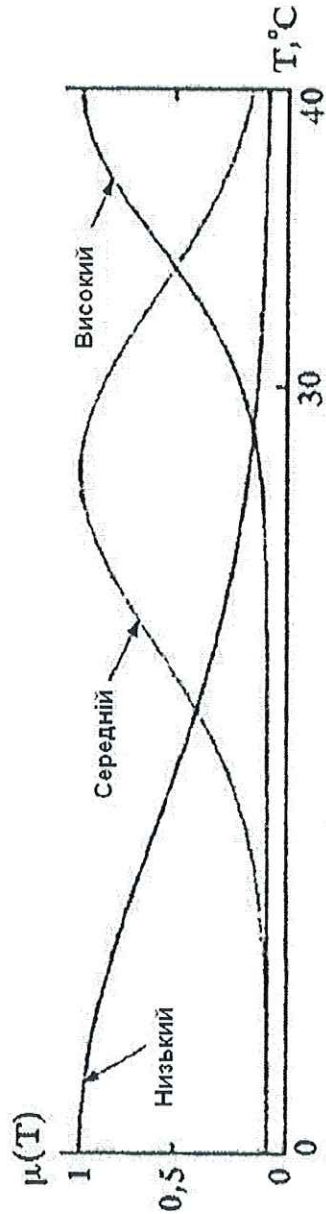
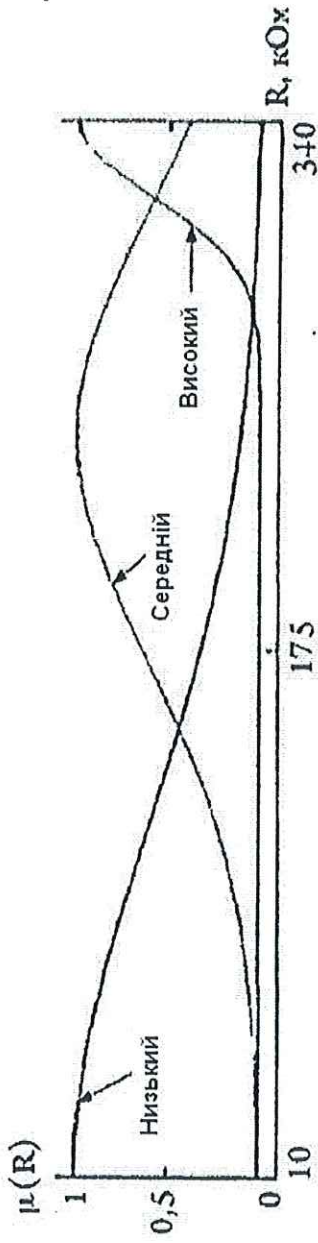
а) Модель Мамдані: R = 0.16

б) Модель Сугено: R = 0.06

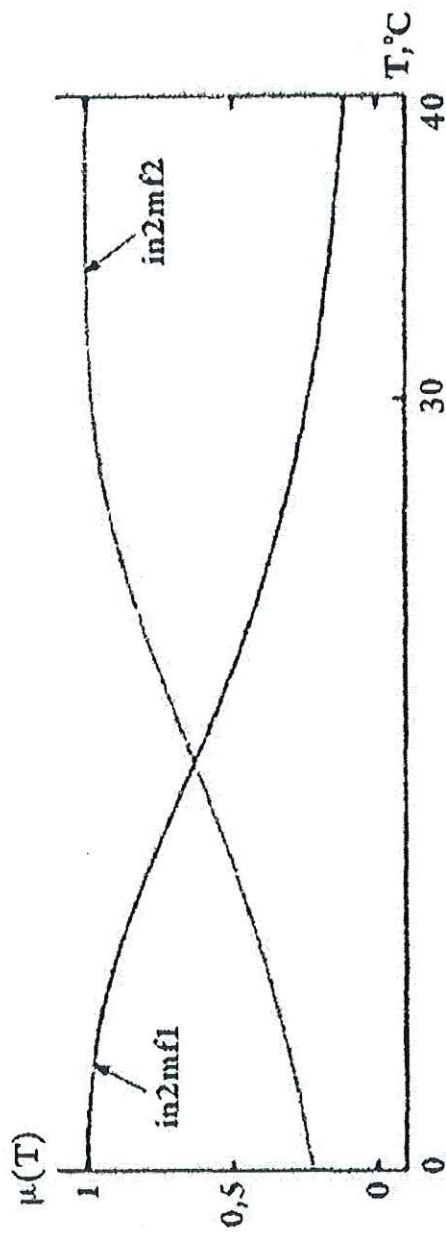
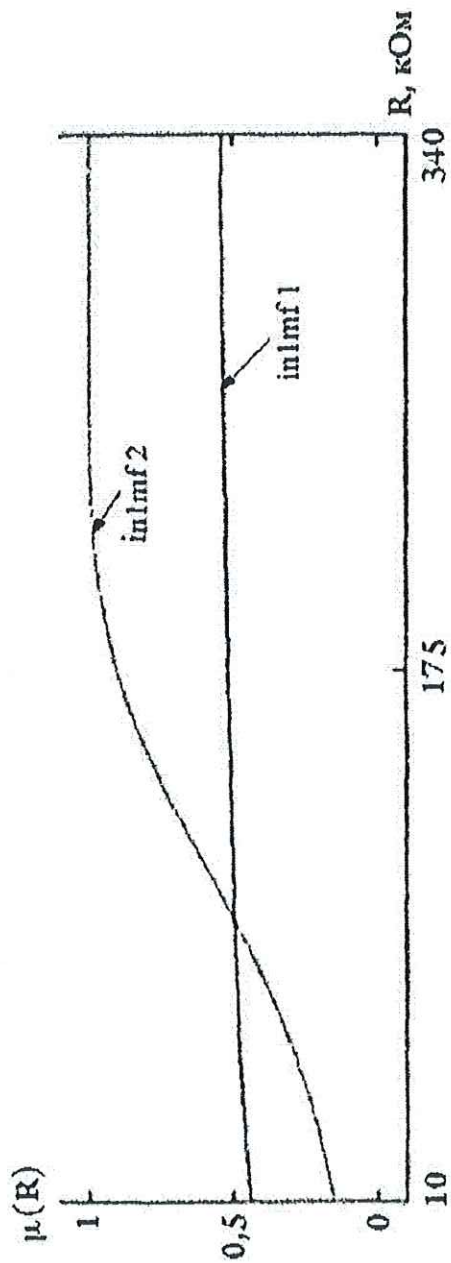
Нечіткі моделі: а) типу Мамдані; б) типу Сугено



Поверхні «вхід-вихід» нечіткої моделі типу Мамдані та Сугено

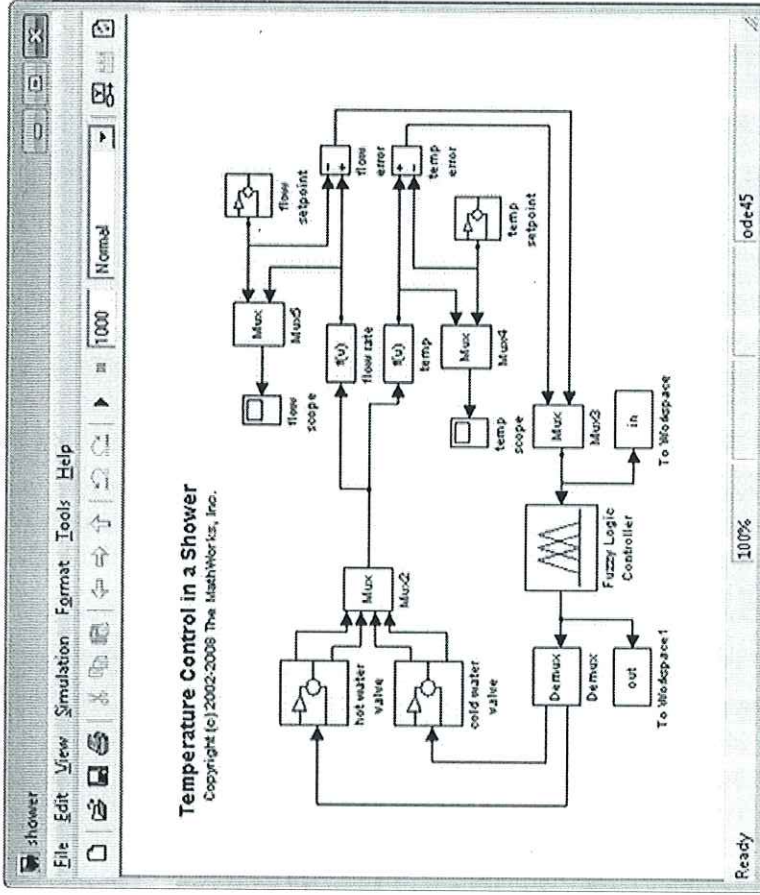


Оптимальні функції приналежності змінних нечіткої моделі типу Мамдані

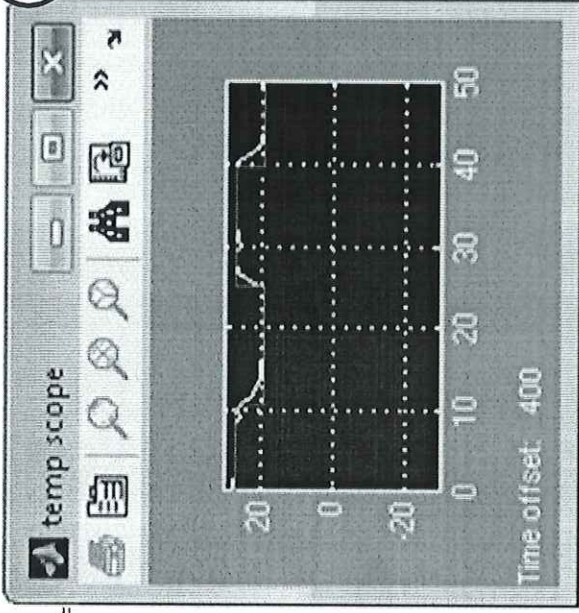


Оптимальні функції приналежності нечіткої моделі типу
Сугено

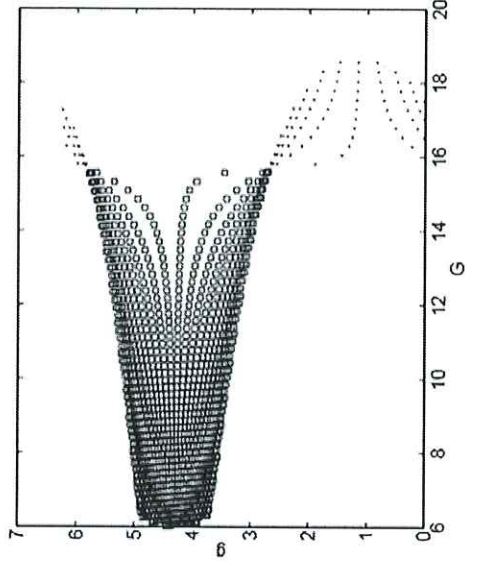
Модель нечіткого регулятора температури

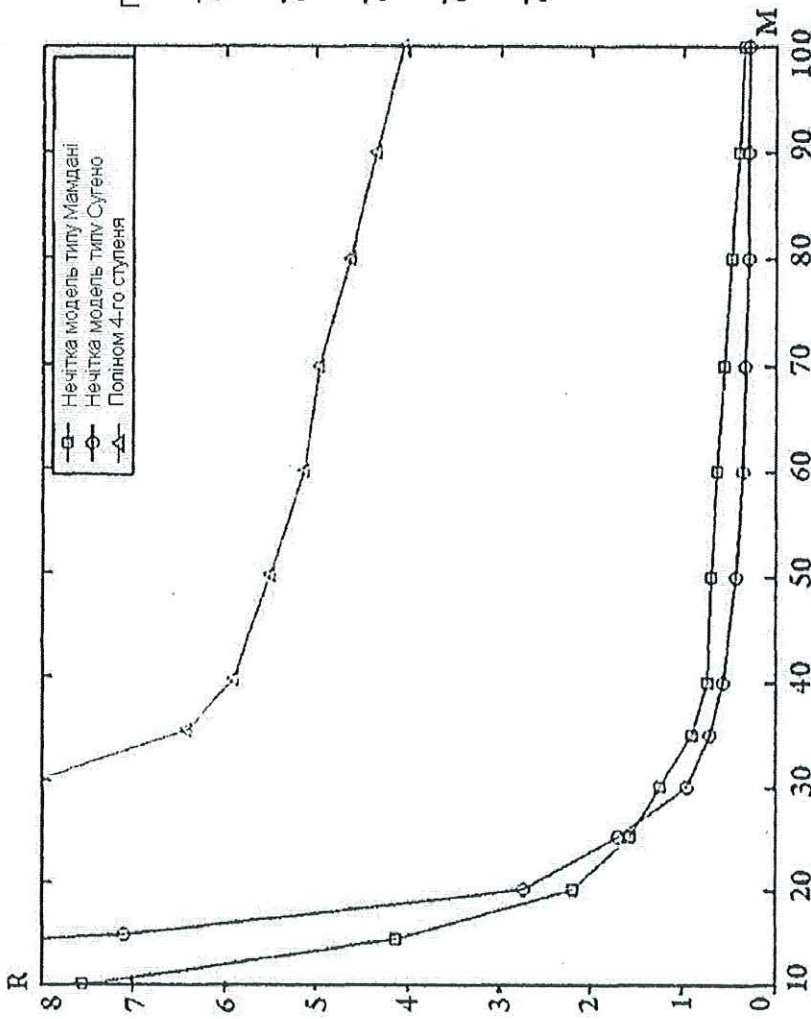


Гradient зміни температурного поля фармацевтичного складу

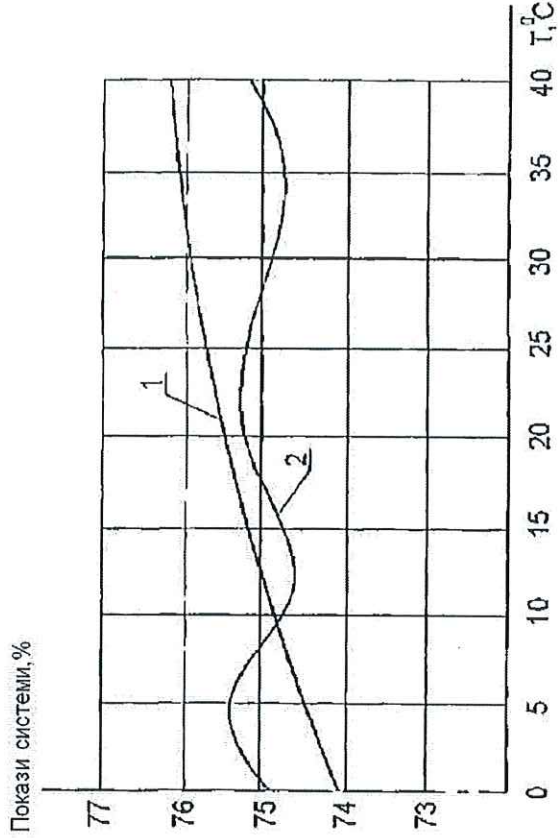


Результати моделювання зміни температури фармацевтичного складу



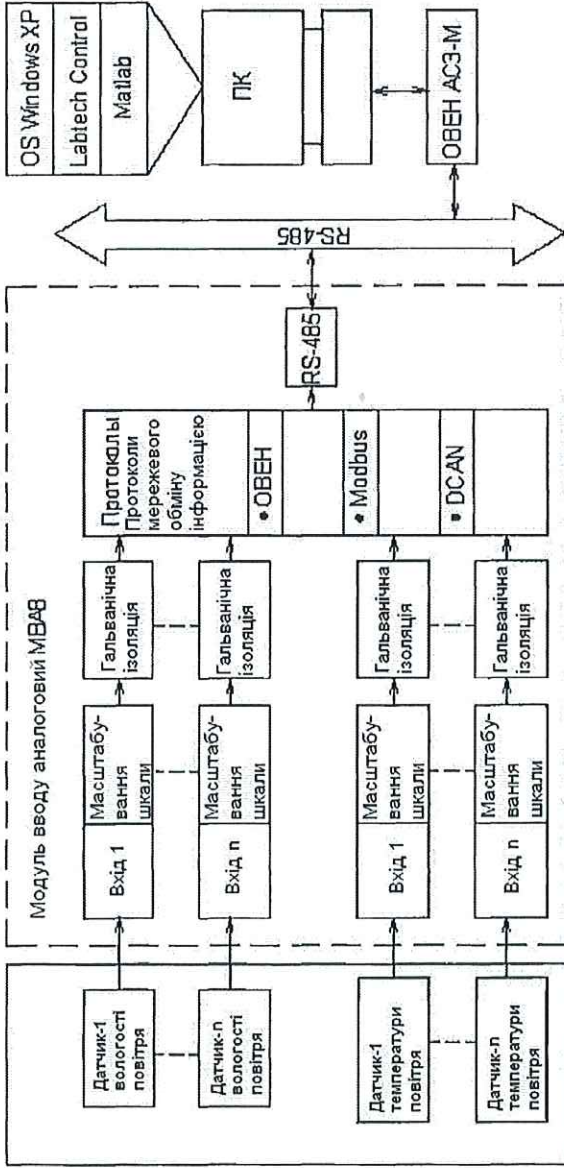


Криві порівняння результатів ідентифікації



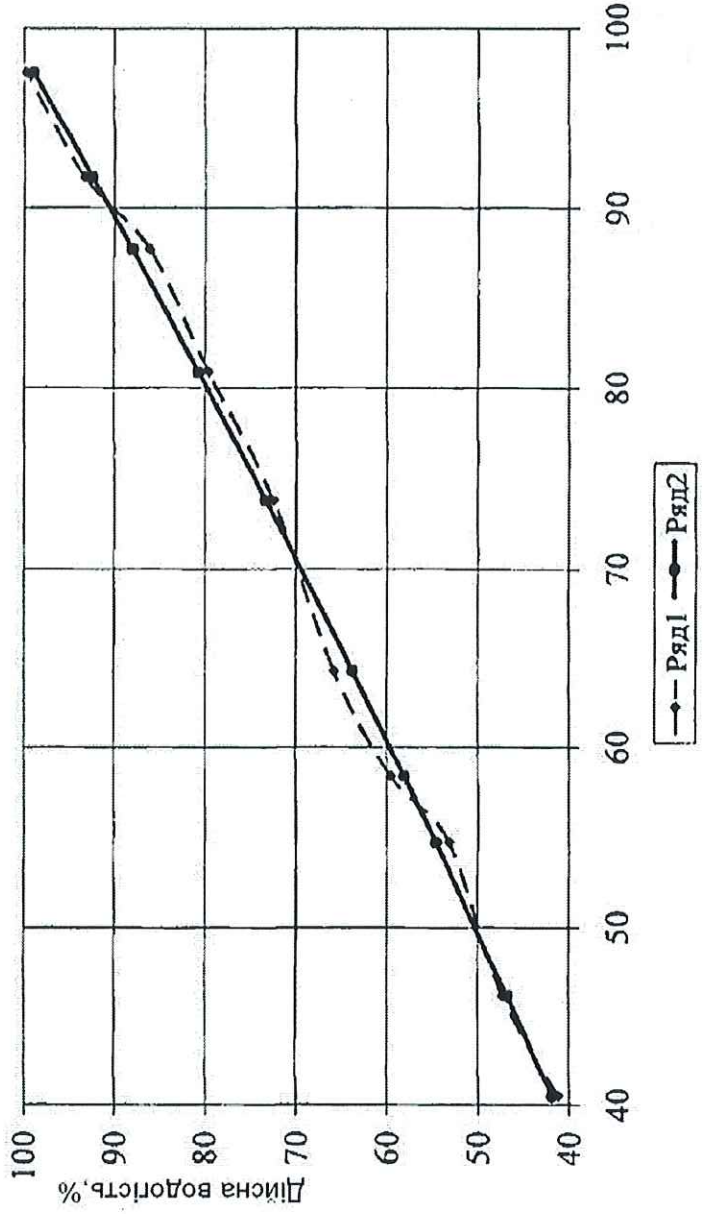
Залежність між показаннями

інтелектуальної системи контролю вологості та температурою повітря: 1 - показники системи без температурної корекції; 2 - показники системи з температурною корекцією



Залежність між показаннями інтелектуальної системи контролю вологості та істинної вологостю повітря фармацевтичного складу

Функціональна схема інтелектуальної системи контролю вологості і температури повітря фармацевтичного складу: RS-4B5 - модуль інтерфейсу RS-4B5; ОВЕН АСЗ-М-адаптер мережі; ПК-персональний компютер оператора (пультава станція)



- У магістерській роботі розв'язано науково-технічну задачу підвищення точності та енергоефективності контролю параметрів мікроклімату (температури й вологості) шляхом розроблення інтелектуальної САК на основі технологій нечіткої логіки.
- Проведено аналіз сучасних систем контролю, який показав, що традиційні рішення не забезпечують необхідної точності вимірювання та стабільності параметрів мікроклімату, що зумовлює підвищені енергозатраги. Встановлено, що фармацевтичні складські приміщення є об'єктами з високим рівнем інформаційної невизначеності, тому доцільним є використання інтелектуальних методів обробки даних і прийняття рішень.
- Розроблено математичні моделі теплообмінних процесів із просторово розподіленими параметрами та метод визначення оптимальної кількості і розташування датчиків вологості й температури. Запропоновано метод ідентифікації залежності вихідного сигналу системи контролю від параметрів повітряного середовища на основі нечіткої логіки, що підвищує точність вимірювання вологості.
- Створено інтелектуальний нечіткий контролер, здатний працювати в умовах неповної інформації, навчатися та адаптуватися до зміни середовища. Розроблено функціональну схему та алгоритм роботи системи, яка забезпечує стабільність параметрів мікроклімату при змінних умовах.
- Запропоновано програмну реалізацію системи з використанням середовища Matlab та SCADA-пакета Labtech Control, що забезпечує моделювання, автоматичну ідентифікацію, візуалізацію процесів і моніторинг у реальному часі. Експериментальна перевірка підтвердила ефективність розробленого підходу, зниження похибки вимірювання та покращення енергетичних показників роботи системи.
- **Загальний висновок:** розроблена інтелектуальна система автоматичного керування мікрокліматом забезпечує точне та енергоефективне підтримання нормативних умов зберігання лікарських засобів, що має важливе практичне значення для фармацевтичних підприємств.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
за матеріалами XI Всеукраїнської науково-практичної конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»

18 грудня 2025 року



Полтава 2025

УДК 004.89 + 681.51

Збірник наукових праць за матеріалами XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 18 грудня, 2025 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2025. – 159 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машини і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор О.В. Шефер.

Редакційна колегія:

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Р.В. Захарченко – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

УДК 681.518

С. Г. Кислиця, к.т.н., доцент,

О.А. Абакумов, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

Мікроклімат приміщення є сукупністю фізичних, хімічних та біологічних факторів, які впливають на робоче середовище. Від мікроклімату виробничого приміщення залежить як якість роботи співробітника, а й продуктивність його праці, працездатність і здоров'я працюючого, і навіть фізичний і психологічний стан співробітника, оскільки робоче місце людина проводить значної кількості часу [1].

Мікроклімат виробничих приміщень визначається поєднанням температури, вологості, рухливості повітря, температури навколишніх поверхонь та їх тепловим випромінюванням, а також атмосферного тиску. Параметри мікроклімату визначають теплообмін організму людини і істотно впливають на функціональний стан різних систем організму, самопочуття, працездатність і здоров'я.

Мікроклімат у виробничих приміщеннях є багатовимірною системою, у якій кожен із параметрів – температура, вологість, швидкість руху повітря, чистота повітря, освітленість та радіаційний фон – відіграє важливу роль у створенні умов, сприятливих для працездатності. Ефективне управління мікрокліматом вимагає комплексного підходу, що включає не тільки використання сучасного обладнання та технологій, а й постійний моніторинг стану повітряного середовища, а також розробку та впровадження заходів щодо оптимізації всіх його компонентів.

Способами покращення метеорологічних умов на робочому місці є влаштування систем штучної вентиляції, кондиціонування та опалення виробничих приміщень. В цілому, ефективне управління мікрокліматом у виробничих приміщеннях потребує комплексного підходу та обліку всіх його складових, включаючи не лише температуру, вологість, швидкість руху повітря, освітленість та радіаційний фон, а й рівень шуму та електромагнітні випромінювання. Додаткові аспекти важливості та впливу температури та вологості на виробничі процеси включають облік сезонних змін та зовнішніх факторів, таких як зміни зовнішньої температури, які можуть впливати на навантаження на системи опалення та кондиціонування. Крім того, важливо враховувати специфіку виробничих процесів та особливості робочих місць під час розробки стратегії підтримки оптимальних умов мікроклімату [2].

З метою покращення стійкості виробничих процесів та скорочення негативного впливу на навколишнє середовище, все більша увага приділяється впровадженню енерго- та ресурсозберігаючих технологій та систем захисту техносфери. З розвитком суспільства та зростанням споживання ресурсів стає дедалі актуальнішим завдання підвищення ефективності використання енергії та матеріальних ресурсів, а також зменшення впливу на навколишнє середовище [3].

Одним із ключових напрямів у цій галузі є оптимізація процесів енергоспоживання з метою ефективного використання різних ресурсів. У цьому контексті можливе застосування кількох заходів, які дозволяють досягти зазначеної мети. По-перше, варто звернути увагу на встановлення сучасного обладнання, що має високу енергоефективність. Завдяки цьому можна значно знизити витрати на енергію, при цьому не зменшуючи продуктивність робочих процесів. Ще одним корисним заходом є автоматизація виробничих процесів. Шляхом впровадження автоматичних систем управління можна оптимізувати використання енергоресурсів, уникати неефективних операцій та знижувати ризик виникнення помилок. В результаті це дозволить підвищити продуктивність і скоротити споживання енергії. Також варто звернути увагу на використання сучасних систем моніторингу та управління енергоспоживанням. Подібні інструменти дозволяють контролювати та аналізувати дані про витрати енергії в реальному часі, а також вживати оперативних заходів щодо оптимізації енергетичних процесів.

Для забезпечення ефективного контролю та управління мікрокліматом також широко використовуються системи автоматизації та дистанційного моніторингу. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів мікроклімату та проводити коригування роботи кліматичного обладнання навіть у віддаленому режимі. В цілому, розуміння важливості контролю температури та вологості на виробництві та вжиття відповідних заходів щодо їх підтримки є ключовими аспектами забезпечення ефективного та безпечного виробничого процесу. Це потребує комплексного підходу, що включає у собі як використання сучасних технологій і устаткування, а й організаційні заходи щодо навчання персоналу та розробці стратегії підтримки оптимальних умов мікроклімату у довгостроковій перспективі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Мережаний Ю.Г. Автоматизована вентиляційно-опалювальна система для малих виробничих приміщень прецизійного приладобудування / Ю.Г. Мережаний, В.С. Антонюк // Нові технології. - Кремечук: 2011. - №1(31). - с.35-38.*

2. Голінко, І.М. *Моделювання та оптимізація систем керування: монографія* / І.М. Голінко, А.І. Кубрак. – Кам"янець–Подільський: ПП Буйницький, 2012. – 262 с.

3. Merezhanу Y. *Automotive indoor climate control for the precision instrument assembly workrooms.* / Y. Merezhanу, V. Antonyuk // *Nauka i studia (Poland).* - *Przemysl: Sp-ka z o.o. "Nauka i studia"*, 2011. - NR 14(45). - с. 57-63.

IMPROVEMENT OF THE AUTOMATIC MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM

S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor,

O. Abakumov, master's student

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"

Наукове видання

Збірник наукових праць за матеріалами XI Всеукраїнської науково-
практичної конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ,
ПРАКТИКА»

Дизайн і комп'ютерна верстка
Відповідальний за випуск

Захарченко Р.В.
Шефер О.В.

Оригінал-макет виготовлено на кафедрі автоматики, електроніки та
телекомунікацій
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
просп. Віталія Грицасенка, 24, м. Полтава, 36011, Україна