

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інтегровані інформаційні
системи»
спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Модуль управління пральною машиною з використанням
нечіткої логіки»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ІА-91

Моргунова Анна Анатоліївна _____

Керівник:

Доц., к.т.н, доц.

Шимкович Володимир Миколайович _____

Рецензент:

доц. каф. ОТ, к.т.н, доц.,

Волокита Артем Миколайович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інтегровані інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Моргуновій Анні Анатоліївні

1. Тема проєкту «Модуль управління пральною машиною з використанням нечіткої логіки», керівник проєкту Шимкович Володимир Миколайович, доц., к.т.н, доц., затверджені наказом по університету від «31» травня 2023 р. № 2101-с.
2. Термін подання студентом проєкту: 12.06.2023
3. Вихідні дані до проєкту: технічна документація, теоретичні дані.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз предметної області, дослідження нечіткої логіки та її розвитку, математичне обґрунтування теорії нечітких множин, розроблення модуля управління пральною машиною.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): WFD-діаграма, діаграма діяльностей, діаграма залежностей, функціональна схема.
6. Дата видачі завдання: 22 лютого 2023 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Затвердження теми роботи	20.02.2023-01.03.2023	
2.	Вивчення та аналіз завдання	01.03.2023-05.04.2023	
3.	Розробка архітектури системи	05.04.2023-20.04.2023	
4.	Розробка структур окремих підсистем	20.04.2023-05.04.2023	
5.	Програмна реалізація системи	05.04.2023-25.04.2023	
6.	Оформлення пояснювальної записки	25.04.2023-30.05.2023	
7.	Передзахист	12.06.2023	
8.	Захист		

Студент

Анна МОРГУНОВА

Керівник

Володимир ШИМКОВИЧ

АНОТАЦІЯ

Моргунова А. А. Модуль управління пральною машиною з використанням нечіткої логіки. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2023

Проект містить 74 сторінки тексту, 38 рисунків, 1 таблицю, посилання на 35 літературних джерел та 4 конструкторські документи.

Ключові слова: пральна машина, нечітка логіка, система керування, керування, нечітка система.

Об'єктом розробки є система управління пральною машиною.

Мета розробки - покращити процес прання та зробити налаштування параметрів автоматизованим та ефективним.

У бакалаврському дипломному проєкті було проаналізовано та досліджено область управління пральною машиною засобами нечіткої логіки. Було реалізовано нечітку систему на базі правил для функцій належностей вхідних та вихідних змінних.

Модуль управління на базі нечіткої логіки приймає на вхід три змінні - вагу, тип одягу та коефіцієнт забрудненості. Після етапів фазифікації, процедури нечіткого виводу та дефазифікації на виході системи утворюються шість змінних - швидкість обертання барабану, час прання, час ополіскування, температура води, кількість прального засобу, об'єм води.

Моделювання проводилось у середовищі Fuzzy Logic Toolbox від Matlab.

SUMMARY

Morhunova A.A. Laundry machine control module using fuzzy logic. Igor Sikorsky KPI, Kyiv, 2023.

The project contains 74 pages of text, 38 figures, 1 table, links to 35 literature sources and 4 design documents.

Keywords: laundry machine, fuzzy logic, control system, control, fuzzy system.

The object of development is a control system for a laundry machine.

The goal of the development is to improve the washing process and make parameter adjustments automated and efficient.

In the bachelor's diploma project, the field of laundry machine control using fuzzy logic was analyzed and investigated. A fuzzy system based on rules for membership functions of input and output variables was implemented.

The control module based on fuzzy logic takes three variables as input - weight, clothing type, and dirtiness coefficient. After the stages of fuzzification, fuzzy inference procedures, and defuzzification, six variables are generated as the system's output - drum rotation speed, washing time, rinsing time, water temperature, amount of detergent, and water volume.

The modeling was performed using the Fuzzy Logic Toolbox in Matlab.

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. аркушів	Номер екзем.	Примітка				
1			Документація загальна							
2										
3			Знову розроблена							
4										
5	A4	IA91.0210БАК.004 ПЗ	Пояснювальна записка	74						
6	A3	IA91.0210БАК.004 Д1	WFD-діаграма	1						
7										
8	A3	IA91.0210БАК.004 Д2	Діаграма діяльностей	1						
9										
10	A3	IA91.0210БАК.004 Д3	Діаграма залежностей	1						
11										
12	A3	IA91.0210БАК.004 Д4	Функціональна схема	1						
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
				IA91.0210БАК.004 ТП						
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис				Дата			
Розроб.		Моргунова А. А.			Модуль управління пральною машиною з використанням нечіткої логіки Відомість проекту		Літ.	Аркуш	Аркушів	
Керівн.		Шимкович В. М.					Т		1	1
							КПІ ім. Ігоря Сікорського			
Затв.							Група ІА-91			

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Модуль управління пральною машиною
з використанням нечіткої логіки»**

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ	8
1.1 Історія виникнення «розумних» пральних машин	8
1.2 Використання нечіткої логіки у пральних машинах	11
1.3 Інструментарій від MatLab Fuzzy Logic Toolbox та його переваги використання у «розумних» пральних машинах	13
1.4 Можливості оптимізації прання за допомогою нечіткої логіки.....	17
1.5 Аналіз існуючих рішень на ринку та порівняння	19
1.6 Постановка задачі роботи та опис моделі системи	23
Висновки до розділу	23
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ЇЇ РОЗВИТКУ. МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН.....	24
2.1 Теорія нечітких множин	24
2.1.1 Розвиток теорії нечітких множин.....	24
2.1.2 Теорія множин	25
2.1.3 Математичне визначення теорії нечітких множин.....	26
2.2 Змінні, функції належності та їхні види	27
2.3 База правил	37
2.4 Механізми нечіткого виводу.....	38
2.5 Нечіткий вивід Мамдані	42

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>											
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис													
Розробив		Моргунова А. А.				Модуль управління пральною машиною з використанням нечіткої логіки Пояснювальна записка				Літ.		Арк.		Аркушів		
Перевірів		Шимкович В. М.								Т			2		74	
Затв.										КПІ ім. Ігоря Сікорського Група ІА-91						

Висновки до розділу	43
3 РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРАЛЬНОЮ МАШИНОЮ..	45
3.1 Вхідні та вихідні змінні системи	45
3.1.1 Визначення вхідних змінних системи.....	46
3.1.2 Визначення вихідних змінних системи	51
3.1.3 Взаємозв'язок вхідних та вихідних змінних	52
3.2 Створення функцій належності	54
3.3 Створення бази правил	62
3.4 Реалізація модуля управління у системі	67
Висновки до розділу	68
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

За останні 50 років людство досягло небаченого раніше прогресу. Індустріальна революція заснувала початок різких змін у роботі та повсякденному житті людей. І навіть зараз, у цифрову епоху, ці зміни продовжуються.

У роки зародження цифрові технології мало як слугували у побуті, а якщо навіть і слугували - таку розкіш могли собі дозволити далеко не всі люди. З появою та широким розповсюдженням транзисторів, різних мікросхем та цифрових контролерів у кінці XX століття інформаційні технології почали стрімко впроваджуватися в повсякденне життя звичайних людей.

Зараз ми не можемо уявити свого життя без використання благ цифровізації, і навіть у нашій ванній кімнаті чи кухні знаходяться «розумні» пристрої. Вже досить давно існує концепція «розумного» будинку. Розумний будинок - це концепція, яка поєднує домашні пристрої, системи безпеки та комунікаційні технології з метою автоматизації та поліпшення зручності, ефективності та безпеки життя в будинку [1]. Він дозволяє контролювати освітлення, опалення, кондиціонування повітря, аудіо-відео системи, а також моніторити та керувати системами безпеки, якість повітря та енергоефективність, зазвичай за допомогою мобільних пристроїв або голосових помічників.

Для досягнення такого результату потрібно використовувати та оптимізовувати передові технології, засновані на інтелектуальних системах. Розумні будинки використовують різноманітні технології для автоматизації та покращення функціональності будинку. Деякі з найпоширеніших технологій, що використовуються в розумних будинках, включають:

- інтернет речей (IoT): IoT дозволяє підключати різні пристрої до мережі Інтернет та забезпечувати їх взаємодію. Це дозволяє управляти пристроями та отримувати дані з них за допомогою мобільних додатків або хмарних платформ;

- бездротові мережі: Бездротові технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth і Zigbee, використовуються для підключення пристроїв у розумному будинку до мережі та між собою;

- голосові помічники: Технології голосового керування, такі як Amazon Alexa, Google Assistant або Apple Siri, дозволяють користувачам взаємодіяти з розумними пристроями та системами за допомогою голосових команд;

- датчики та сенсори: Датчики руху, датчики присутності, температурні датчики, датчики вологості тощо використовуються для збору даних про оточуюче середовище та стан будинку. Ці дані використовуються для автоматизації різних систем, наприклад, освітлення, опалення або безпеки;

- розумні мультимедійні системи: Це включає розумні телевізори, аудіо-відео системи, стрімінгові приставки, які можуть бути інтегровані з розумними додатками та системами управління;

- розумні системи безпеки: Розумні будинки можуть мати системи відеоспостереження, сигналізації, контролю доступу та інші рішення безпеки, які можуть бути підключені до мережі та керовані за допомогою мобільних пристроїв;

- енергоефективність: Технології енергоефективності, такі як розумний термостат, управління освітленням, моніторинг споживання електроенергії, допомагають знижувати споживання енергії та оптимізувати її використання.

Це лише кілька прикладів технологій, які використовуються в розумних будинках. Швидкий розвиток технологій продовжує сприяти появі нових інновацій та можливостей для розумного житла.

Одним з важливих елементів «розумного» будинку є пральна машина. Вона виконує роль автоматизованого пристрою для прання одягу та білизни, і може бути інтегрована в систему з метою поліпшення зручності та ефективності її використання. Основні функції, які можуть бути доступні в розумній пральній машині, включають:

- Віддалене управління: За допомогою додатків для смартфонів або інших

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

пристроїв користувач може віддалено керувати режимами прання, температурою, швидкістю обертання барабана тощо.

- Розумний режим: Пральна машина може мати функцію виявлення типу тканини та рівня бруду, що дозволяє автоматично налаштовувати оптимальні параметри прання для кожного завантаження.

- Розклад прання: Користувач може налаштувати розклад прання, щоб машина запускалася в певний час, забезпечуючи зручність та економію енергії.

- Споживання енергії: Розумна пральна машина може надавати статистику щодо споживання енергії та допомагати користувачам приймати енергоефективні рішення.

- Інтеграція з іншими системами: Пральна машина може бути інтегрована з системою розумного дому, що дозволяє їй взаємодіяти з іншими пристроями та системами, такими як система контролю енергії, система безпеки або інші побутові пристрої.

Загалом, пральна машина в розумному будинку сприяє автоматизації процесу прання та надає користувачам більшу гнучкість, зручність та контроль над цим побутовим процесом.

Одним з найкращих способів реалізації інтелектуальних систем є нечітка логіка. Нечітка логіка - це галузь математики та інформатики, яка використовується для моделювання нечітких або неоднозначних понять. У традиційній булевій логіці значення змінних можуть бути або істинними (1) або хибними (0), тоді як у нечіткій логіці значення можуть бути від 0 до 1, представляючи ступінь приналежності до певної категорії [2].

У розумних будинках нечітка логіка може бути застосована для прийняття рішень на основі нечітких або неоднозначних даних. Оскільки оточуюче середовище та поведінка користувачів можуть бути складними для точного моделювання, нечітка логіка дозволяє враховувати нечіткість та неоднозначність вхідних даних.

Наприклад, у системі автоматизації розумного будинку, нечітка логіка може бути використана для керування опаленням або кондиціонуванням повітря,

					IA91.0210BAK.004 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

враховуючи такі фактори, як температура, вологість, перебування людей тощо. Нечіткі правила можуть бути встановлені для визначення, коли і яким чином регулювати температуру залежно від цих факторів.

Також, нечітка логіка може бути використана для автоматизованого управління освітленням в розумному будинку. З використанням датчиків руху, освітлення може реагувати на присутність людей та рівень природного освітлення, забезпечуючи оптимальний комфорт та енергозбереження.

Нечітка логіка може використовуватись для допомоги людям з обмеженими можливостями. Наприклад, вже існує система на основі нечіткої логіки, яка допомагає незрячим людям орієнтуватися по будинку [3].

Беручи до уваги весь об'єм задач, які має вирішувати «розумна» пральна машина, доцільно зробити висновок, що використання нечіткої логіки цілком задовольняється. Тому, метою даної роботи буде створення системи автоматизованого управління пральною машиною на основі нечіткої логіки.

Завдання, які необхідно вирішити для поставленої мети:

- аналіз предметної області та дослідження можливостей застосування нечіткої логіки до управління пральною машиною;
- вибір вхідних та вихідних змінних нечіткої системи;
- заповнення бази правил нечіткими змінними;
- реалізація нечіткої системи у програмному середовищі;
- написання висновків.

Модуль управління пральною машиною може мати велике практичне значення. Результати цієї роботи можна адаптувати та використовувати у широкому виробництві пральних машин.

Дипломний проєкт складається з наступних розділів: вступ, аналіз предметної області, дослідження нечіткої логіки та її розвитку, математичне обґрунтування теорії нечітких множин, розроблення модуля управління пральною машиною, висновки, список використаних джерел із 35 найменувань. Графічна частина включає 4 кресленики формату А3. Загальний обсяг 74 сторінки.

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Історія виникнення «розумних» пральних машин

Перш ніж процес прання одягу став таким, до якого ми звикли зараз, він пройшов довгий шлях від ручного прання до автоматизованого. У багатьох стародавніх культурах люди чистили свої одяг, б'ючи їх об камені або терши відсівом та миттям бруду в потоках або річках. Римляни винайшли примітивне мило, схоже на луг, яке містило попіл та жир від жертвоприносних тварин. В колоніальні часи найпоширенішим способом прання було кип'ятити одяг у великому горщику або котлі, потім розтягувати його на пласкій дошці і бити палицею, яку називали «долі». Металеву ребристу дошку для прання, яку багато людей пов'язують з життям переселенців, винайдено близько 1833 року. До цього часу дошки для прання виготовлялися повністю з дерева, включаючи вирізану ребристу поверхню для прання. Ще пізніше, під час Громадянської війни, прання часто відбувалося як спільний ритуал, особливо в місцях близько річок, джерел та інших водойм, де здійснювалося миття [4].

В середині 19 століття США опинились на порозі промислової революції. По мірі зростання міського населення почав формуватися великий прошарок середнього класу з коштами та ентузіазмом винаходити пристрої, які полегшували життя людей. Так, двоє американців, Джеймс Кінг у 1851 році та Гамільтон Сміт у 1858 році, подали заявки на патенти для подібних пристроїв, які історики іноді називають першими справжніми «сучасними» пральними машинами.

Відкриття Томаса Едісона в галузі електрики прискорили промисловий прогрес Америки. До кінця 19 століття домашні пральні машини працювали вручну, тоді як комерційні машини приводилися в рух за допомогою пари та ременів. Все змінилося у 1908 році з появою пральної машини Thor, першої комерційної електричної пральної машини.

Пізніше, в 1937 році Джон Чанберлін та Рекс Басет розробили першу автоматичну пральну машину (слово «автоматична» тоді означало, що пральна

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

машина може прати, полоскати та сушити згідно з визначеним часом циклу). У 1976 році компанія Servis випустила першу у світі пральну машину під управлінням комп'ютеру з футуристичними кнопками керування, яку зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 — Найперші «розумні» машини від компанії Servis [5]

У 1975 році Е. Мамдані та Асіліан розробили перший контролер на основі нечіткої логіки.

У 2012 році Жень та Фенг розробили газовий обігрівач, базуючись на поведінковій моделі контролера на основі нечіткої логіки. Також був розроблений контролер на основі нечіткої логіки для керування рівнем рідини, який був порівняний з контролером на основі пропорційно-інтегрально-

диференціального (ПД) регулювання. Аналіз порівняння показав, що контролери на основі нечіткої логіки значно зменшують перерегулювання та сталий стан помилки.

У 2007 році був використаний підхід нечіткої інференції для розрахунку часу прання, де для визначення мутності використовувалася трикутна функція належності. У 2009 році Притеш Лохані запропонував вдосконалений мікрочіп для керування пральною машиною, з введенням параметрів типу бруду, маси одягу та ступеня забруднення, і виводом часу прання за допомогою 25 правил.

У 2011 році Маніш Аггарвал представив контролер на основі нечіткої логіки з двома входами і одним виходом, де входами є тип бруду і ступінь забруднення, а вихід - час прання з інференц-двигуном, який має 9 правил для контролера на основі нечіткої логіки.

У 2013 році Кумар та Хайдер вибрали входні параметри - ступінь забруднення і кількість - для скорочення часу прання. У тому ж році Альханжурі та Альхадад використовували тип бруду і ступінь забруднення як входні параметри, а вихід - час прання системи.

У 2021 році для забезпечення якісного прання системи К. Раджа та С. Раматілагам використали ступінь забруднення, тип одягу та масу навантаження одягу як входні параметри, тоді як отримані вихідні дані були час прання, час сушіння, температура і оберти за допомогою 27 правил для температури води і 27 правил для часу прання в середовищі Matlab.

У 2022 році Мухаммед та Несліхан написали коди для контролера на основі нечіткої логіки з використанням мови програмування Python та вказали, що найбільш придатний час прання можна отримати за допомогою методів трапеційної функції належності для фазифікації, мінімального виведення та центра ваги для дефазифікації.

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Використання нечіткої логіки у пральних машинах

Сьогодні покупцям пропонується величезний вибір пральних машин з безліччю різних функцій, і чим більша вартість пральної машини, тим більше корисних і не зовсім функцій у неї закладено.

Наразі пральні машини з використанням нечіткої логіки - досить дороге задоволення. На ринку поступово з'являється усе більше моделей з інтелектуальним управлінням, але їхня ціна все ще досить висока - від 700\$ за одну одиницю. Проте використання AI навіть у пральних машинах може суттєво покращити якість прання.

Переваги використання нечіткої логіки у пральних машинах [6]:

- ефективне управління пральними машинами: Використання нечіткої логіки у модулі управління дозволяє покращити продуктивність пральної машини. Нечітка логіка дозволяє враховувати різні фактори, такі як тип тканини, рівень бруду, обсяг завантаження і т.д., і приймати висновки на основі нечітких правил. Це дозволяє досягти кращих результатів прання і забезпечити задоволення потреб користувачів;

- енергоефективність: Використання нечіткої логіки може сприяти зменшенню споживання енергії пральною машиною. Нечітка логіка дозволяє адаптувати параметри прання в реальному часі відповідно до умов прання, що дозволяє оптимізувати роботу машини і зменшити споживання енергії;

- зменшення витрат на обслуговування: Використання нечіткої логіки може допомогти знизити витрати на обслуговування пральних машин. Нечітка логіка дозволяє виявляти і прогнозувати несправності та проблеми у роботі машини, що дозволяє оперативно реагувати на них і запобігати серйозним поломкам. Це зменшує необхідність у виклику майстра і зберігає витрати на ремонт;

- розвиток «розумних» пристроїв: Використання нечіткої логіки сприяє розвитку «розумних» пристроїв для дому. Такі пристрої можуть автоматично визначати тип тканини, оптимізувати програму прання та використовувати навчання на основі даних для покращення результатів прання. Це відкриває

					IA91.0210BAK.004 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

шлях до нових можливостей в галузі автоматизації і зручності в повсякденному житті.

З використанням нечіткої логіки пральна машина зможе автоматично:

- налаштовувати час прання в залежності від обсягу білизни;
- налаштовувати рівень води в залежності від обсягу білизни;
- налаштовувати температуру прання в залежності від типу тканини;
- вибирати найбільш підходящий режим прання в залежності від типу тканини;
- виявляти та видаляти плями з білизни;
- додавати засіб для зм'якшення тканини під час полоскання;
- вибирати найбільш підходящий режим віджимання в залежності від типу тканини;
- вимикатися, коли прання завершено;
- надавати сигнали про проблеми з пранням.

Використання нечіткої логіки в пральних машинах також має свої недоліки:

Складність налаштування: Розробка і налаштування нечітких логічних систем можуть бути складними завданнями, вимагати досить значних зусиль і експертних знань.

Обмежена точність: Нечітка логіка базується на приблизних значеннях та нечітких категоріях, що може призводити до обмеженої точності в прийнятті рішень. Це може вплинути на якість прання та забезпечення оптимальних умов для різних типів тканин.

Вартість і складність реалізації: Впровадження нечіткої логіки в пральні машини може підвищити їхню вартість та складність конструкції. Для реалізації нечіткої логіки можуть знадобитися додаткові сенсори, алгоритми та обчислювальні ресурси, що може підвищити загальну складність та вартість пральних машин.

Вразливість до шуму та збоїв: Нечітка логіка може бути вразливою до шуму або непередбачуваних збоїв. Незначні зміни в вхідних даних можуть призвести

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

до значних змін у вихідних результатах. Це може стати проблемою в умовах непередбачуваного шуму або несправностей в пральній машині.

Обмежені можливості розширення: Нечітка логіка може мати обмежені можливості розширення або модифікації. Внесення змін у вже існуючу нечітку логічну систему може бути складним завданням, і вимагати повторного налаштування та перевірки системи.

Ці недоліки використання нечіткої логіки не означають, що вона не ефективна у використанні в пральних машинах. Але врахування цих аспектів є важливим при розробці та використанні нечіткої логіки у промислових додатках.

1.3 Інструментарій від MatLab Fuzzy Logic Toolbox та його переваги використання у «розумних» пральних машинах

В сучасному світі, де технології все більше проникають в наш побут і покращують наші повсякденні життя, розумні системи стають необхідністю. Використання нечіткої логіки у таких системах відкриває широкі можливості для досягнення автоматизації, оптимізації та підвищення зручності користування.

Один із потужних інструментів для реалізації нечіткої логіки у розумних системах є Fuzzy Logic Toolbox від Matlab [7]. Цей інструментарій надає великий набір функцій та алгоритмів, спеціально розроблених для роботи з нечіткою логікою. Використання Fuzzy Logic Toolbox дозволяє розробникам створювати складні логічні моделі, що базуються на нечітких правилах, для прийняття оптимальних рішень в реальному часі.

Однією з основних переваг MatLab Fuzzy Logic Toolbox є його простота використання та гнучкість. Завдяки інтуїтивному інтерфейсу та можливості використання готових функцій та шаблонів, розробка та реалізація нечіткологічних систем стають доступними навіть для неспеціалістів. Крім того, Fuzzy Logic Toolbox дозволяє інтегрувати нечіткологічні моделі з іншими

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

функціональними блоками системи, такими як сенсори, актуатори та інші, забезпечуючи повну інтеграцію та функціональність.

Застосування MatLab Fuzzy Logic Toolbox у розумних системах, таких як управління пральними машинами, дозволяє досягти високої точності, ефективності та зручності в роботі. Використання нечіткої логіки дозволяє пральним машинам автоматично адаптуватись до різних умов прання, регулювати параметри прання згідно з типом тканини та забезпечувати оптимальні результати.

Таким чином, MatLab Fuzzy Logic Toolbox виявляється потужним інструментом для розробки модулів управління пральними машинами на основі нечіткої логіки, що дозволяє підвищити рівень автоматизації, ефективності та зручності використання [8].

Використання Fuzzy Logic Toolbox в розробці модуля управління пральною машиною з використанням нечіткої логіки має кілька переваг:

- зручний інструментарій: Fuzzy Logic Toolbox є потужним інструментом, який надає широкі можливості для моделювання та розробки нечітких систем. Вона має багато вбудованих функцій та алгоритмів, які спрощують процес розробки та налаштування нечітких контролерів;

- інтеграція з MATLAB та Simulink: Fuzzy Logic Toolbox інтегрується з MATLAB і Simulink, що дозволяє використовувати його разом з іншими інструментами для аналізу, моделювання та симуляції систем. Це спрощує процес розробки, тестування та валідації модуля управління пральною машиною;

- легкість реалізації нечіткої логіки: Fuzzy Logic Toolbox надає можливість створювати нечіткі правила та системи за допомогою інтуїтивно зрозумілих графічних інтерфейсів або шляхом програмування на MATLAB. Це дозволяє розробникам ефективно втілювати нечітку логіку в модулі управління пральною машиною;

- наявність підтримки та ресурсів: Fuzzy Logic Toolbox має широку спільноту користувачів і підтримку від MathWorks, що забезпечує доступ до

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

документації, прикладів, форумів та інших ресурсів. Це дає можливість отримати допомогу та поради під час розробки модуля.

Загалом, використання Fuzzy Logic Toolbox у розробці модуля управління пральною машиною дозволяє ефективно використовувати потужні можливості нечіткої логіки для створення інтелектуального та гнучкого управління, що покращує функціональність та продуктивність пральної машини.

Fuzzy Logic Toolbox від MatLab є одним з найпопулярніших інструментів для реалізації нечіткої логіки. Однак, існують і інші інструменти, які також використовуються для роботи з нечіткою логікою. Ось порівняння Fuzzy Logic Toolbox з деякими з них:

- Fuzzy Logic Toolbox vs. Python scikit-fuzzy:

Fuzzy Logic Toolbox має широкий набір функцій та інструментів, що дозволяє розробляти складні нечіткі системи з легкістю. Він має інтуїтивний інтерфейс та може бути використаний навіть користувачами без попереднього досвіду з нечіткою логікою.

Python scikit-fuzzy також є потужним інструментарієм для роботи з нечіткою логікою у мові програмування Python. Він має простий синтаксис та можливості для розробки нечітких систем. Однак, порівняно з Fuzzy Logic Toolbox, scikit-fuzzy може мати меншу кількість готових функцій та інструментів, що може вимагати додаткового написання коду розробником.

- Fuzzy Logic Toolbox vs. Java Fuzzy Logic Library:

Fuzzy Logic Toolbox є широко використовуваним інструментом для реалізації нечіткої логіки. Він надає багато функцій та алгоритмів для розробки нечітких систем та логічних відношень. Інтерфейс Fuzzy Logic Toolbox дозволяє легко виконувати операції з нечіткими множинами та правилами.

Java Fuzzy Logic Library є бібліотекою для реалізації нечіткої логіки у мові програмування Java. Вона надає функції для розробки нечітких систем та алгоритмів управління. Однак, порівняно з Fuzzy Logic Toolbox, Java Fuzzy Logic Library може бути менш розгалуженою та менш популярною, що може призвести до обмеження функціональності та підтримки.

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Fuzzy Logic Toolbox vs. ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System):

Fuzzy Logic Toolbox дозволяє розробляти нечіткі системи на основі експертних знань та правил. Розробники можуть вручну визначати нечіткі правила та логічні відношення, що дозволяє точно контролювати поведінку системи. Fuzzy Logic Toolbox зосереджується на логічних правилах та розрахунках з нечіткими множинами.

ANFIS поєднує нечітку логіку з нейромережевими алгоритмами, що дозволяє автоматично навчати нечіткі системи на основі навчальних даних. ANFIS може бути корисним для задач, де немає достатньо експертних знань або де важко вручну визначити нечіткі правила. Проте, навчання ANFIS може бути складним та вимагати більше обчислювальних ресурсів.

- Fuzzy Logic Toolbox vs. Neuro-Fuzzy Systems:

Fuzzy Logic Toolbox спрощує розробку нечітких систем із зручним інтерфейсом та багатим функціоналом. Він дозволяє визначати нечіткі правила та виконувати розрахунки з нечіткими множинами без потреби в глибоких знаннях нейромереж.

Neuro-Fuzzy Systems поєднують нечітку логіку з нейромережевими алгоритмами для досягнення кращої точності та адаптації. Вони можуть використовуватись для навчання нечітких систем на основі даних та покращення їх прогностичних можливостей. Проте, розробка і використання Neuro-Fuzzy Systems може бути складнішим та вимагати більше обчислювальних ресурсів порівняно з Fuzzy Logic Toolbox.

Кожен з цих інструментів має свої переваги і обмеження, і вибір залежатиме від конкретного завдання, мови програмування та рівня експертизи розробника. Fuzzy Logic Toolbox від MatLab відомий своєю легкістю використання, гнучкістю та широким набором функцій, що робить його привабливим варіантом для багатьох розробників та дослідників.

1.4 Можливості оптимізації прання за допомогою нечіткої логіки

Прання одягу є необхідним щоденним процесом для багатьох людей. Однак, оптимальне прання вимагає урахування різних факторів, таких як кількість білизни, тип тканини, рівень бруду і температура прання. Використання нечіткої логіки в модулі управління пральною машиною відкриває широкі можливості для автоматичної оптимізації процесу прання. Завдяки нечіткій логіці модуль, який інтелектуально аналізує і враховує різні фактори, щоб автоматично налаштувати час, температуру, оберти і рівень води, забезпечуючи ефективне і економне прання. Далі будуть розглянуті можливості оптимізації процесу прання за допомогою нечіткої логіки і переваги, які вона може принести для покращення якості прання та зручності користування.

Враховуючи можливості, які надає нечітка логіка, модуль управління пральною машиною може робити наступні речі:

Покращення ефективності прання: модуль може оптимізувати параметри прання, такі як час, температура та оберти, для досягнення кращих результатів видалення бруду та догляду за тканинами.

Забезпечення заощадження енергії та води: модуль може автоматично регулювати використання енергії та води залежно від обсягу білизни, типу тканини та інших факторів, що сприяє зменшенню споживання ресурсів.

Забезпечення зручності та комфорту: модуль може автоматично визначати оптимальні параметри прання без необхідності втручання користувача, забезпечуючи зручне та комфортне користування пральною машиною.

Захист тканин: модуль може враховувати тип тканини та рекомендації по догляду за ними, що дозволяє уникати пошкоджень або зносу тканин під час прання.

Виявлення та усунення проблем: модуль може моніторити роботу пральної машини та виявляти проблеми, такі як засмічення фільтра, несправність датчиків або інші несправності, і надавати відповідні повідомлення користувачу.

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Адаптація до змінних умов: модуль може адаптуватися до зміни умов прання, таких як обсяг білизни, ступінь забруднення або тип тканини, для забезпечення оптимального результату прання.

Основною метою модуля управління пральною машиною на основі нечіткої логіки є покращення якості прання, забезпечення економії ресурсів та надання зручності користувачу.

Модуль управління може досягти цих цілей, використовуючи нечітку логіку і розумні алгоритми для прийняття рішень щодо оптимальних параметрів прання. Ось деякі конкретні способи, якими модуль може досягти цих цілей:

Автоматичне регулювання параметрів: модуль може аналізувати вхідні дані, такі як обсяг білизни, тип тканини, ступінь забруднення і т.д., і на основі цих даних автоматично налаштовувати час прання, температуру, рівень води і швидкість віджимання.

Оптимізація енергоспоживання: модуль може використовувати нечітку логіку для знаходження балансу між ефективністю прання і споживанням енергії. Він може приймати рішення про використання меншої кількості енергії, коли прання легке або машина не повністю заповнена.

Врахування типу тканини: модуль може мати базу знань про рекомендовані параметри прання для різних типів тканин. Він може використовувати цю інформацію, щоб автоматично вибирати найбільш підходящий режим прання та параметри для забезпечення дбайливого ставлення до тканин.

Виявлення та усунення проблем: модуль може моніторити роботу пральної машини, аналізувати сигнали та датчики для виявлення проблем, таких як засмічення фільтра або несправність датчиків. Він може надавати сповіщення користувачу про виникнення проблеми та рекомендувати відповідні дії.

Адаптація до змінних умов: модуль може бути програмованим для адаптації до змінних умов, таких як зміна обсягу білизни або типу тканини. Він може автоматично налаштовувати параметри прання відповідно до цих змін, забезпечуючи оптимальний результат прання.

Всі ці методи дозволяють модулю управління пральною машиною на основі нечіткої логіки досягти покращення ефективності прання, забезпечити економію ресурсів та забезпечити комфортну та зручну взаємодію з користувачем.

1.5 Аналіз існуючих рішень на ринку та порівняння

Використання нечіткої логіки в пральних машинах стає все більш поширеним і популярним. За останні роки спостерігається зростання інтересу до цього підходу у розробці та вдосконаленні пральних машин. Багато виробників пральних машин впроваджують нечітку логіку в своїх продуктах, що дозволяє досягти більш точного та ефективного управління процесом прання. Далі будуть розглянуті наявні (або зняті з виробництва) на ринку моделі пральних машин та їхні особливості.

- LG FH-8C3LD [9]

Одна з найпростіших «розумних» машин. Вона може визначати вагу одягу, а також ступінь забруднення одягу разом з жорсткістю води за допомогою спеціальних датчиків. На основі цих даних вона корегує параметри обраної програми, контролюючи витрати води, температуру, кількість обертів, час прання та полоскання. Зовнішній вигляд пральної машини зображений на рисунку 1.2.

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 — Пральна машина LG FH-8C3LD

Тип мотору у даній машині - інверторний з прямим приводом (цей мотор - також розробка компанії LG). Це означає, що пральна машина буде економити 15% електроенергії та при пранні буде набагато менше шумів. Також ця машина оснащена сушкою. Клас енергоспоживання - A+++, клас віджиму - C. Можна завантажити до 5 кг.

Одна з цікавих функцій, яка є у цій пральній машині - мобільна діагностика SmartDiagnosis. Це технологія, яка дозволяє користувачу самостійно діагностувати несправності у пральній машині. Доступні два варіанти самостійної діагностики - через мобільний додаток та за допомогою системного сигналу, який відправляється одразу в сервісний центр.

Наразі цю модель зняли з виробництва.

- LG AI DD F2V5GS0W [10]

Одна з передових сучасних моделей пральних машин, оснащена технологією AI DD, яка фіксує вагу одягу і тип, і автоматично регулює задані на старті параметри прання. Ця пральна машина має більш розширений функціонал, ніж попередня. Зовнішній вигляд даної пральної машини зображений на рисунку 1.2.

					<i>IA91.0210БАК.004 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 — Пральна машина LG AI DD F2V5GS0W

Максимальне завантаження машини - 8,5 кг. Модель не оснащена сушкою, але так само має інвенторний двигун. Має 14 програм, але що зручно, це “своя програма”, де можна самому налаштувати режим прання. Клас енергоспоживання - А, клас віджиму - В.

Машина, окрім “інтелектуального прання” має таймер закінчення прання (потрібно задати час, коли має завершитись прання, і машина автоматично вирахує час початку прання), і прання гарячим паром.

Також доступна функція управління пральною машиною з додатку SmartThinQ - додаток від LG для керування розумним будинком. В додаток до цього можна керувати машиною за допомогою голосового помічника - Google Assistant або Amazon Alexa.

Ця модель наявна зараз на українському ринку, її ціна коливається в межах 625\$.

- Candy RO14116DWMCE-S [11]

Флагман пральних машин від італійського бренду Candy. Так само, як і попередні моделі, має інвенторний двигун. Максимальна вага завантаження - 11

					IA91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

кг. Має функцію прання паром. Клас енергоспоживання - A+++, клас віджиму - A. Зовнішній вигляд пральної машини зображений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 — Пральна машина Candy RO14116DWMCE-S

Машина має технологію Smart Touch, достатньо прикласти мобільний телефон модулем NFC до машини, і додаток може підвантажити додаткові програми прання, а також надасть рекомендації щодо експлуатації пральної машини. Улюблені програми можна зберігати для миттєвого використання. Як у попередній моделі, тут також присутня функція відкладеного старту.

У даній моделі реалізована нечітка логіка, яка за допомогою системи датчиків аналізує рівень забруднення та на основі цього вираховує тривалість прання. Сенсорні датчики також фіксують тип забруднення, склад тканини та жорсткість води.

На українському ринку модель коштує 500\$.

Існують розроблені контролери для пральних машин з використанням нечіткої логіки, наприклад, роботи [12-16].

					IA91.0210BAK.004 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Постановка задачі роботи та опис моделі системи

Беручи до уваги всі можливості, які надає нечітка логіка для “розумного” керування пральними машинами, було обрано задачі, які вирішуватиме модуль управління у даній роботі:

- 1) автоматичний підбір швидкості обертання баку пральної машини;
- 2) встановлення оптимального часу прання;
- 3) встановлення оптимального часу полоскання;
- 4) налаштування потрібної температури води;
- 5) використання необхідної для прання кількості прального засобу;
- 6) використання необхідної для прання кількості води.

Згідно поставлених задач було розроблено WFD (Work Flow Diagram) - діаграму, за допомогою якої описується послідовність процесів. Це допоможе зрозуміти у подальшому проєктуванні, які процеси існують та як потрібно їх реалізувати. Діаграма процесів наведена на кресленику IA91.021BAK.004 Д1.

Висновки до розділу

У даному розділі було досліджено актуальність вибору теми управління пральною машиною на основі нечіткої логіки. Були розглянуті можливі завдання, які може вирішувати «розумна» пральна машина. Також було проаналізовано існуючі на ринку рішення, були наведені конкретні моделі та коротко описані технічні характеристики кожної з них.

На основі отриманої інформації було виконано постановку цілей, які матиме перед собою модуль управління пральною машиною. Було розроблено WFD-діаграму процесів, щоб описати послідовність роботи пральної машини.

В якості поля для моделювання було обрано Fuzzy Logic Toolbox від Matlab.

					IA91.0210BAK.004 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ЇЇ РОЗВИТКУ. МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

У попередньому розділі було розглянуто використання нечіткої логіки у пральних машинах. Було проаналізовано існуючі рішення та досліджено усі можливості, які надає нечітка логіка для побудови системи для управління пральною машиною.

Застосування нечіткої логіки має свої особливості та специфіку. Щоб побудувати автоматизовану систему на основі нечіткої логіки, потрібно ознайомитися з теорією нечітких множин - фундаментом нечіткої логіки. Розглянемо це детальніше.

2.1 Теорія нечітких множин

2.1.1 Розвиток теорії нечітких множин

Теорія нечітких множин і нечітка логіка у математиці є узагальненнями теорії множин. Ці поняття вперше були застосовані американським вченим Лотфі Заде у 1965 році. Головною причиною виникнення даної теорії була необхідність опису нечітких і наближених даних, які використовуються для пояснення різних процесів та систем у світі [17].

Зародження теорії нечітких множин передувало визнанню нечіткого підходу до моделювання складних систем у всьому світі. Розвиток нечітких систем можна умовно поділити на три періоди.

Перший етап розвитку нечітких систем, що тривав з кінця 60-х до початку 70-х років, відзначався теоретичним розвитком нечітких множин, завдяки працям Л. Заде, Е. Мамдані та Беллмана.

У другому етапі (70-80-ті роки) з'явилися перші практичні результати в галузі нечіткого управління складними технічними системами, такими як парогенератор з нечітким керуванням. Також увага була зосереджена на

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розробці експертних систем на основі нечіткої логіки та нечітких контролерів, які знайшли широке застосування в медицині та економіці.

Нарешті, третій етап, що триває з кінця 80-х років до сьогоднішнього дня, відзначається появою програмних пакетів для побудови нечітких експертних систем, а також значним розширенням областей застосування нечіткої логіки. Вона застосовується в різних галузях, включаючи автомобільну, аерокосмічну та транспортну промисловість, побутову техніку, фінанси, аналітику та прийняття управлінських рішень.

Теорема FAT (Fuzzy Approximation Theorem) [18], доведена Бартоломеєм Коско в кінці 80-х років, позначила початок широкого розповсюдження нечіткої логіки по всьому світу. У бізнесі та фінансах нечітка логіка отримала визнання, коли в 1988 році експертна система на основі нечітких правил єдиною передбачила фінансовий крах. Кількість успішних застосувань нечітких методів на сьогоднішній день налічується тисячами.

2.1.2 Теорія множин

Теорія множин - це розділ математичної логіки, який вивчає множини. У математиці множина - це скупчення окремих об'єктів, яке розглядається в цілому як об'єкт [19].

Основи теорії множин були закладені в роботах Георга Кантора у 1874 році.

В основі теорії множин лежить бінарне відношення між об'єктом x та множиною X : якщо x є елементом X , то використовується позначення $x \in X$. Оскільки множини також є об'єктами, відношення приналежності також може відноситись до множин.

Об'єднанням множин A і B ($A \cup B$) являє собою множина усіх об'єктів, які є елементами A , або B , або їх обох. Наприклад, об'єднання $A = \{1, 2, 3\}$ і $B = \{2, 3, 4\}$ це множина $C = \{1, 2, 3, 4\}$.

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Перетином множин A і B ($A \cap B$) є множина усіх об'єктів, які є елементами як множини A , так і множини B . Наприклад, перетин множин $A = \{1, 2, 3\}$ і $B = \{2, 3, 4\}$ це множина $C = \{2, 3\}$.

Доповненням множин U в A ($U \setminus A$) є множина всіх елементів U , які не є елементами A . Доповненням множин $U = \{1, 2, 3\}$ в $A = \{2, 3, 4\}$ буде множина $C = \{1\}$, у той час як доповненням множин $A = \{2, 3, 4\}$ в $U = \{1, 2, 3\}$ буде $C = \{4\}$.

Симетричною різницею множин A і B ($A \Delta B$) являє собою набір усіх елементів, котрі є елементами лише однієї множини A або B . Наприклад, для множин $A = \{1, 2, 3\}$ і $B = \{2, 3, 4\}$ це множина $C = \{1, 4\}$.

Декартовим добутком множин A і B ($A \times B$) є множина, елементами якої є усі можливі впорядковані пари $\{a, b\}$, де a є елементом A , а b є елементом B . Наприклад, декартовим добутком множин $A = \{1, 2, 3\}$ і $B = \{4, 5, 6\}$ буде $C = \{(1, 4), (2, 5), (3, 6)\}$.

Потужністю множини A є множина, елементами якої є усі можливі підмножини A . Наприклад, потужністю множини $A = \{1, 2\}$ є множина $B = \{\{\}, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}\}$.

2.1.3 Математичне визначення теорії нечітких множин

Нечітка множина являє собою сукупність елементів, відносно яких неможливо точно визначити, чи вони володіють певною властивістю, яка використовується для задання нечіткої множини [20].

Нехай X - універсальна множина, x - елемент X , а R - певна властивість. Звичайна (чітка) підмножина A універсальної множини X , елементи якої задовольняють властивість R , визначається як множина впорядкованих пар $A = \mu_A x / x$, де $\mu_A x$ - характеристична функція, яка приймає значення 1, якщо x задовольняє властивість R , та 0, якщо не задовольняє.

Нечітка множина відрізняється від звичайної тим, що для елементів x множини X немає однозначної відповіді стосовно властивості R . Тому нечітка

					IA91.0210BAK.004 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підмножина A універсальної множини X визначається як множина впорядкованих пар $A = \mu_A x/x$, де $\mu_A x$ - характеристична функція належності, яка приймає значення в певній впорядкованій множині $M=0;1$. Функція належності вказує степінь належності елементу x до підмножини A . Множину M називають множиною належності, де 0 означає відсутність належності x до підмножини A , а 1 - повну належність.

Для нечітких множин так само, як і для звичайних, визначені основні логічні операції, найпростіші та найнеобхідніші з яких є перетин та об'єднання.

Перетин двох нечітких множин (нечітке «І»):

$$AB : MF_{AB}(x) = \min(MF_A(x), MF_B(x)) . \quad (2.1)$$

Об'єднання двох нечітких множин (нечітке «АБО»):

$$AB : MF_{AB}(x) = \max(MF_A(x), MF_B(x)) . \quad (2.2)$$

2.2 Змінні, функції належності та їхні види

В теорії нечітких множин розроблений загальний підхід до виконання операторів перетину, об'єднання та доповнення, які називають трикутними нормами та конормами.

Для опису нечітких множин вводяться поняття нечіткої та лінгвістичної змінної [21].

У нечіткій логіці, нечіткі змінні використовуються для описування невизначеності та нечіткості у світі. Вони можуть приймати значення на проміжку від 0 до 1, відображаючи ступінь належності об'єкта до певної категорії або ступінь виконання певної властивості.

Лінгвістичні змінні є основою для вираження нечітких змінних у нечіткій логіці. Вони використовуються для опису категорій або понять у мовній формі, що є зрозумілою для людей. Лінгвістичні змінні представлені лінгвістичними

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

термінами, такими як «високий», «низький», «швидкий», «повільний» і т. д. Кожен лінгвістичний термін має свою функцію належності, яка визначає ступінь належності об'єкта до цього терміна.

Нечіткі та лінгвістичні змінні використовуються разом для моделювання та розуміння нечіткості та невизначеності в різних областях, таких як системи управління, прийняття рішень, прогнозування тощо. Вони дозволяють більш гнучко та реалістично виражати знання та правила експертів у нечіткій логіці.

Як нечіткі та лінгвістичні змінні, функція належності також є ключовим поняттям в нечіткій логіці. Вона використовується для опису ступеня належності об'єкта до певного лінгвістичного терміна або нечіткої множини.

Функцію належності можна використовувати в різних областях для моделювання нечітких змінних. Декілька прикладів, де можна застосувати функцію належності:

- управління температурою в приміщенні: функція належності може використовуватися для визначення ступеня комфорту в залежності від температури. Наприклад, можна мати лінгвістичні терміни «холодно», «комфортно» та «спекотно» з відповідними функціями належності, що вказують на ступінь належності до кожного з цих термінів;

- автоматичне керування транспортними системами: функція належності може бути використана для моделювання ступеня перевантаженості доріг або інших елементів транспортної системи. За допомогою функцій належності можна визначити рівень трафіку, наприклад «низький», «середній» або «високий», і використовувати цю інформацію для прийняття рішень щодо керування рухом;

- медична діагностика: функція належності може використовуватися для моделювання ступеня симптомів або характеристик пацієнта. Наприклад, при діагностиці захворювання можна мати лінгвістичні терміни «низький ризик», «середній ризик» та «високий ризик» з відповідними функціями належності для визначення ймовірності наявності захворювання.

Функція належності використовується для опису нечітких змінних та визначення правил у нечіткій логіці. Вона дозволяє кількісно виразити ступінь належності об'єкта до певної категорії та використовується в процесі нечіткого виведення для обчислення ступенів приналежності вихідних змінних.

Функція належності (MF) приймає значення від 0 до 1, відображаючи ступінь належності об'єкта до терміна. Значення 0 вказує на повну неналежність, тоді як значення 1 вказує на повну належність. Проміжні значення відображають ступені нечіткості або невизначеності.

Математично функцію належності можна зобразити наступним чином:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\} . \quad (2.3)$$

Ядро функції належності нечіткої множини A визначається як та область універсуму, яка характеризується повною або повною належністю до множини A . Таким чином, ядро складається з усіх елементів X універсуму розмови, для яких виконується умова: $\mu_A(x) = 1$.

Підтримуюча частина функції належності нечіткої множини A визначається як та область універсуму, яка характеризується ненульовою належністю до нечіткої множини A . Таким чином, підтримка складається з усіх елементів X універсуму, для яких виконується умова: $\mu_A(x) > 0$.

Межа функції належності нечіткої множини A визначається як та область універсуму X , яка характеризується ненульовою, але не повною належністю. Межі включають ту частину елементів X універсуму, для яких значення належності визначається за допомогою $\mu_A(x) \in (0, 1)$.

Графічне представлення ядра, підтримуючої частини та межі функції приналежності зображене на рисунку 2.1.

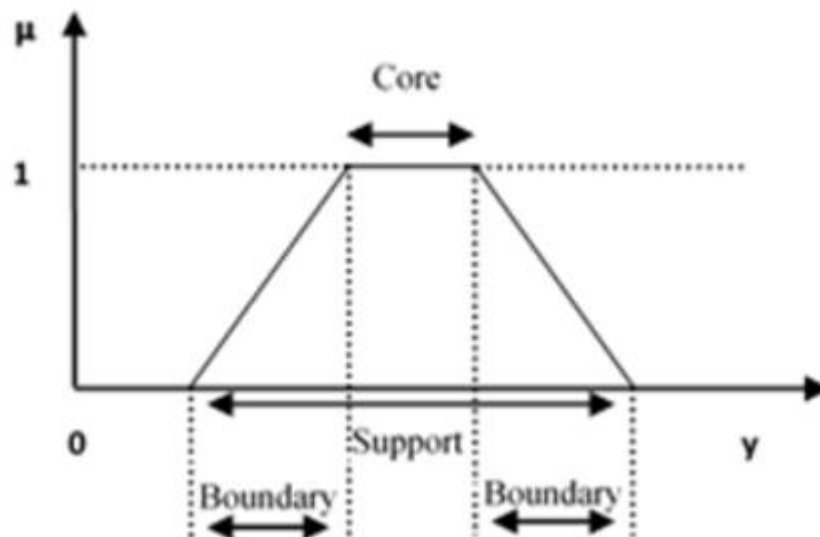


Рисунок 2.1 — Ядро, підтримуюча частина та межі функції приналежності [22]

Точками перетину функції належності є елементи нечіткої множини A , значення належності яких дорівнює 0,5: $\mu_A(x) = 0,5$

Функція належності може бути визначена різними способами, в залежності від обраної моделі чи методу. Найпоширенішими типами функцій належності є трикутна, трапецієвидна, гаусівська, сигмоїдальна та інші. Кожен тип функції належності має свою форму та параметри, які визначають її вигляд. Розглянемо їх детальніше.

1) трикутна функція належності;

Трикутна функція належності задається трьома параметрами $\{a, b, c\}$ наступним чином [23]:

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b. \\ \frac{c - x}{c - b}, & b \leq x \leq c. \\ 0, & c \leq x. \end{cases} \quad (2.4)$$

За допомогою операторів $\min$ та $\max$, ми маємо альтернативний вираз для попереднього рівняння:

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right). \quad (2.5)$$

Параметри $\{a, b, c\}$ ($a < b < c$) визначають x -координати трьох кутів основного трикутного MF. Рисунок 2.2 ілюструє трикутний MF, визначений трикутником $(x; 20, 60, 80)$.

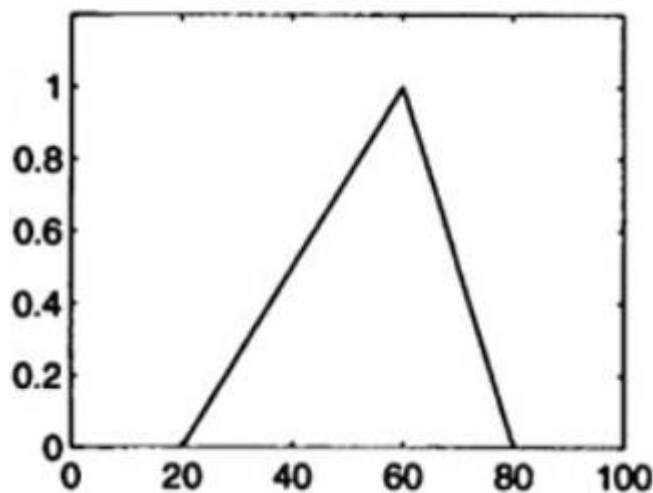


Рисунок 2.2 — Трикутна функція належності [23]

2) трапецієподібна функція належності;

Трапецієподібна ФН визначається чотирма параметрами $\{a, b, c, d\}$ і має наступний вигляд:

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b. \\ 1, & b \leq x \leq c. \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c. \\ 0, & c \leq x. \end{cases} \quad (2.6)$$

Альтернативний стислий вираз за допомогою функцій $\min$ і $\max$:

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right). \quad (2.7)$$

Параметри $\{a, b, c, d\}$ ($a < b \leq c < d$) визначають x-координати чотирьох кутів підлежної трапецієподібної ФП. На рисунку 2.3 показано трапецієподібну ФП, визначену трапецією $(x; 10, 20, 60, 95)$. Трапецієподібна ФП з параметрами $\{a, b, c, d\}$ зводиться до трикутної ФП, коли b дорівнює c .

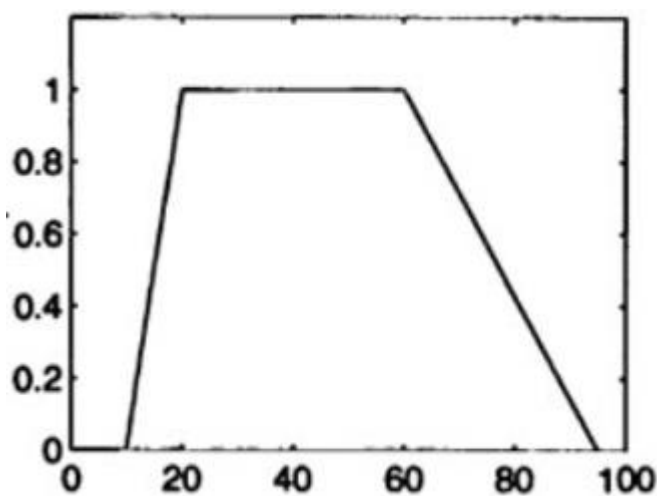


Рисунок 2.3 — Трапецієподібна функція належності [23]

Через їх прості формули та ефективність обчислень, трикутні та трапецієподібні функції належності широко використовуються, особливо в реальному часі. Однак, оскільки ці функції належності складаються з прямих відрізків, вони не є гладкими в точках перехрестя, що визначаються параметрами. Далі будуть розглянуті інші типи функцій належності, які визначаються гладкими та нелінійними функціями.

3) гаусова функція належності;

Гаусова функція належності визначається двома параметрами:

$$gaussian(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}. \quad (2.8)$$

Гаусова функція належності повністю визначається параметрами c і σ , де c представляє центр функції, а σ визначає ширину функції. На рисунку 2.4 зображена гаусова функція належності, визначена як $Gaussian(x; 50, 20)$.

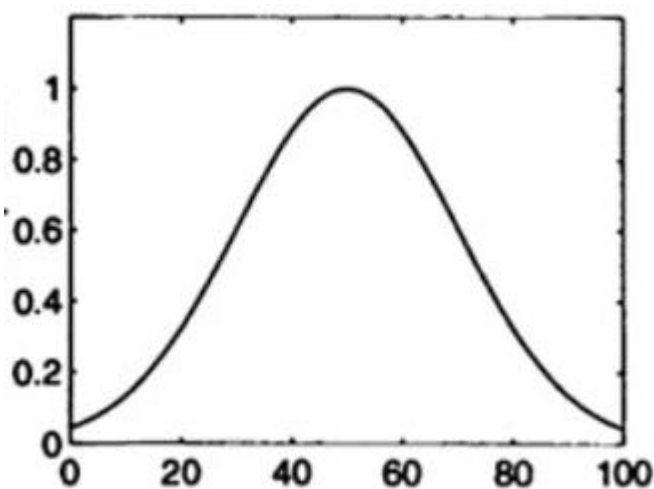


Рисунок 2.4 — Гаусова функція належності [23]

4) функція приналежності у формі дзвону;

Узагальнена функція *bell* (або функція у формі дзвону) визначається трьома параметрами $\{a, b, c\}$:

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}, \quad (2.9)$$

де параметр b зазвичай є позитивним. (Якщо b є від'ємним, форма цієї функції у формі дзвону стає перевернутою.) Ця функція є прямим узагальненням розподілу Коші, що використовується в теорії ймовірностей, тому її також називають функцією Коші.

Функція належності у формі дзвону наведена на рисунку 2.5.

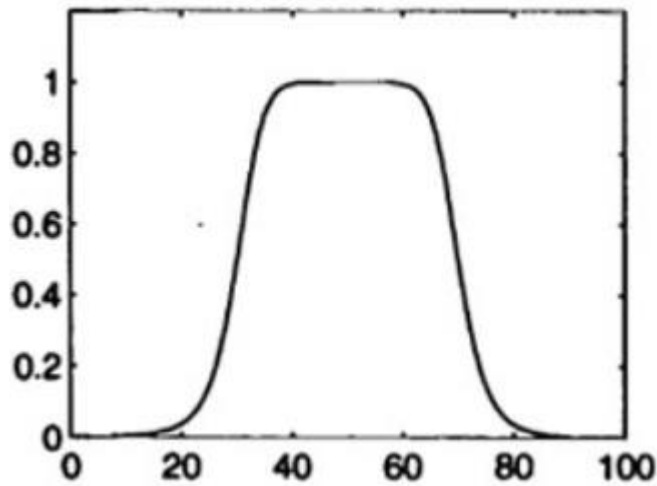


Рисунок 2.5 — Функція приналежності у формі дзвону [23]

Через їх гладкість і лаконічність запису, гаусівські та дзвоноподібні функції стають все більш популярними для визначення нечітких множин. Гаусівські функції відомі в теорії ймовірностей та статистиці, вони мають корисні властивості, такі як незмінність відносно множення (добуток двох гаусівських функцій є гаусівською функцією з множником масштабування) та перетворення Фур'є (перетворення Фур'є гаусівської функції все ще є гаусівською функцією). Дзвоноподібна функція має на один параметр більше, ніж гаусівська функція, тому вона має одну додаткову ступінь свободи для налаштування крутизни в точках перетину.

Хоча ці два типи функцій забезпечують гладкість, вони не можуть визначити асиметричні функції належності, які є важливими у певних застосуваннях. Далі буде визначена сигмоїдна функція належності, яка може бути відкритою зліва або справа.

5) сигмоїдна функція належності.

Сигмоїдна функція належності визначається за допомогою такого виразу:

$$\text{sig}(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - c)]} \quad (2.10)$$

де параметр a контролює нахил у точці перетину $x=c$.

В залежності від знаку параметра a , сигмоїдна функція за своєю природою відкрита вправо або вліво і, таким чином, є відповідною для представлення понять, таких як «дуже великий» або «дуже від'ємний». Сигмоїдні функції цього типу широко використовуються як функції активації штучних нейронних мереж. Тому, для того щоб нейронна мережа могла симулювати поведінку нечіткої системи висновків, перша проблема, з якою ми стикаємося, - це синтез близької нечіткої функції через сигмоїдну функцію. Два простих способи досягнення цього показані в наступному прикладі.

На рисунку 2.6 показано дві сигмоїдні функції $y_1 = \text{sig}(x; 1, -5)$ і $y_2 = \text{sig}(x; 2, 5)$; близьку та асиметричну нечітку функцію можна отримати шляхом обчислення різниці $|y_1 - y_2|$, як показано на рисунку 2.7. Рисунок 2.8 показує ще одну сигмоїдну функцію, визначену як $y_3 = \text{sig}(x; -2, 5)$; інший спосіб сформувати близьку та асиметричну нечітку функцію - обчислити їх добуток $y_1 y_3$, як показано на рисунку 2.9.

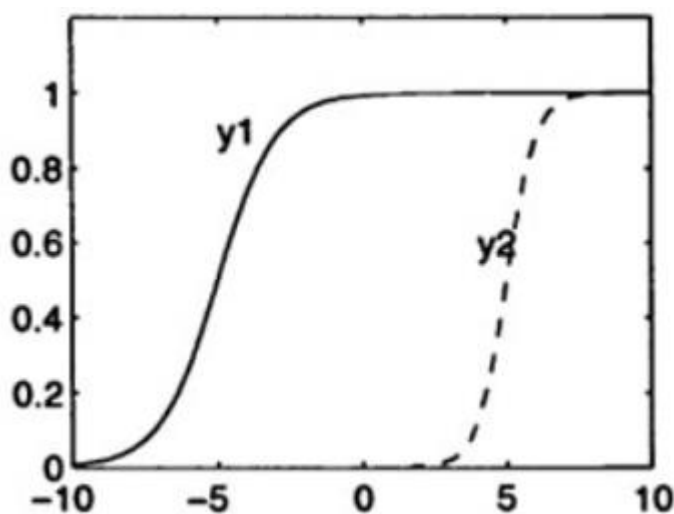


Рисунок 2.6 — Сигмоїдні функції $y_1 = \text{sig}(x; 1, -5)$ і $y_2 = \text{sig}(x; 2, 5)$ [23]

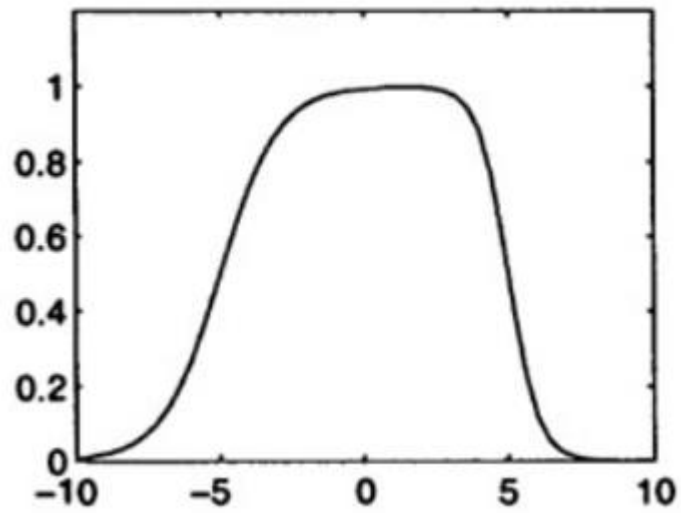


Рисунок 2.7 — Різниця $|y_1 - y_2|$ [23]

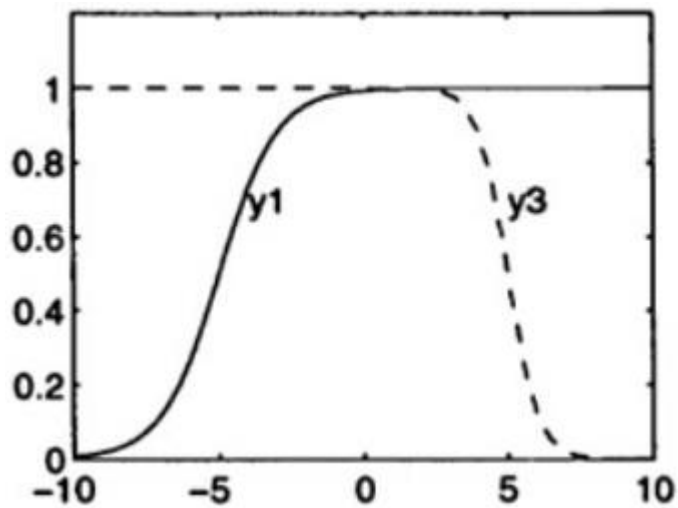


Рисунок 2.8 — Сигмоїдна функція $y_3 = \text{sig}(x; -2, 5)$ [23]

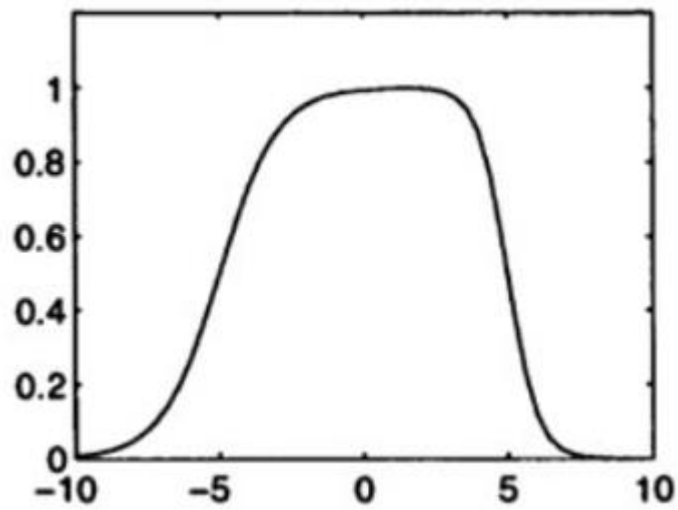


Рисунок 2.9 — Добуток $y_1 y_3$ [23]

2.3 База правил

Основою для проведення операції нечіткого логічного виводу є база правил. База правил у нечіткій логіці є центральною складовою елементом системи нечіткого управління. Вона визначає взаємозв'язок між вхідними змінними (факторами) і вихідними змінними (дії, рішення) системи. База правил складається з набору нечітких правил, які виражають знання і експертні правила відносно функціонування системи.

База правил у нечіткій логіці дозволяє здійснювати логічне виведення та приймати рішення на основі нечітких умов. Вона використовується для моделювання нечітких систем, де точні математичні моделі є недостатніми або складними для застосування [24].

База правил містить у собі нечіткі формулювання «IF-THEN» та функції належності для відповідних лінгвістичних термів. При цьому мають зберігатися певні умови:

- існує хоча б одне правило для кожного лінгвістичного терму вихідної змінної;
- для будь-якого терму вхідної змінної існує хоча б одне правило, у якому цей терм виконує передумову (тобто, стоїть у лівій частині правила).

Нехай у базі правил є m правил виду:

$$R1: \text{IF } x_1 \text{ is } A_{11} \text{ AND } x_n \text{ is } A_{1n} \text{ THEN } y \text{ is } B_1$$

...

$$Ri: \text{IF } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ AND } x_n \text{ is } A_{in} \text{ THEN } y \text{ is } B_i$$

...

$$Rm: \text{IF } x_1 \text{ is } A_{m1} \text{ AND } x_n \text{ is } A_{mn} \text{ THEN } y \text{ is } B_m,$$

(2.11)

де x_k , $k = 1 \dots n$ - вхідні змінні; y - вихідна змінна; A_{ik} , $k = 1 \dots n$ - задані нечіткі множини з функціями належності.

					IA91.0210BAK.004 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Результатом нечіткого виводу є чітке значення змінної u на основі заданих чітких значень x_k , $k = 1 \dots n$.

У системі нечітких правил, поряд з кожним правилом (зазвичай справа від нього), іноді вказується число F , яке відповідає коефіцієнту визначеності або ваговому коефіцієнту для цього правила. Якщо не вказувати вагові коефіцієнти, то за замовчуванням вони вважаються рівними 1 для всіх правил.

Важливою характеристикою бази правил є її узгодженість. По-перше, це означає, що правила не повинні суперечити одне одному. Це досягається, коли об'єкт управління та методику його керування описує один експерт, який має чітке та однозначне бачення щодо керування об'єктами даного класу. По-друге, узгодженість також означає, що умови та висновки правил можуть використовувати лише нечіткі лінгвістичні вирази та його підвидах, і при цьому всі елементи терм-множини мають мати визначені функції належності.

2.4 Механізми нечіткого виводу

Поняття нечіткого виводу відіграє центральну роль в нечіткій логіці та теорії нечіткого керування. Говорячи про нечітку логіку в системах керування, можна надати наступне визначення системи нечіткого виводу.

Система нечіткого виводу - це процес отримання нечітких висновків щодо необхідного керування об'єктом на основі нечітких умов або припущень, які представляють собою інформацію про поточний стан об'єкта [25].

Цей процес поєднує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції належності, лінгвістичні змінні, методи нечіткої імплікації та інші. Розробка та застосування систем нечіткого висновку включає декілька етапів, реалізація яких здійснюється на основі розглянутих раніше принципів нечіткої логіки.

Механізм нечіткого виводу включає в себе декілька етапів. Розглянемо їх детальніше.

1) фазифікація, або фаза розмиття (Fuzzification);

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Перший етап механізму нечіткого виводу - фазифікація - відіграє важливу роль у перетворенні вхідних даних або умов на нечіткі значення, які можна використовувати у нечіткій логіці.

На цьому етапі, числові вхідні дані або умови, які можуть бути чіткими (наприклад, температура, швидкість, висота) перетворюються на нечіткі значення, які представлені функціями належності. Функції належності визначають ступінь належності об'єкту до різних лінгвістичних категорій або терм-множин.

Відповідно до 2.2, функції належності можуть мати різні форми, такі як трикутні, трапецієвидні, гаусіанські, дзвоноподібні та інші, в залежності від природи домену проблеми та експертного знання. Кожна функція належності характеризується своїм центром, формою та шириною.

Процес розмиття може включати кілька вхідних змінних і кожна змінна може мати свою функцію належності. Таким чином, на виході з цього етапу отримуємо нечіткі значення, які відображають ступінь належності об'єкту до кожної лінгвістичної категорії.

Фаза розмиття є важливою, оскільки дозволяє враховувати неоднозначність та нечіткість вхідних даних, що властиві багатьом реальним проблемам. Цей етап дозволяє моделювати експертні знання та інтуїцію, перетворюючи чіткі числові дані на нечіткі значення, які можна обробляти та використовувати для подальшого нечіткого виводу та керування.

2) використання правил (Rule Evaluation);

Другий етап механізму нечіткого виводу - фаза використання правил - відіграє ключову роль у визначенні відповідей або висновків системи на основі нечітких значень, отриманих під час розмиття в першому етапі.

На цьому етапі, система використовує набір нечітких правил, які визначають зв'язки між вхідними та вихідними нечіткими значеннями. Кожне правило складається з умовних частин, які використовують нечіткі значення вхідних змінних (нечітка умова - антецедент), і висновкової частини, яка містить нечітке значення вихідної змінної (нечіткий висновок - консеквент).

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час фази використання правил, кожне правило оцінюється за допомогою оператора нечіткої імплікації (наприклад, «AND», «OR»), який враховує ступінь відповідності вхідних нечітких значень умовним частинам правила. Це оцінювання може бути здійснено за допомогою різних методів нечіткої логіки, таких як Максимін, Продект або Імплікація Мамдані.

Кожне правило має свій ваговий коефіцієнт, який відображає важливість або вплив даного правила на вихідні нечіткі значення. Ці вагові коефіцієнти використовуються для агрегації результатів від усіх правил та визначення кінцевого нечіткого висновку.

Після оцінки кожного правила та агрегації результатів, отримується нечітке значення вихідної змінної, яке представляє відповідь або висновок системи на основі вхідних умов. Це нечітке значення може бути подальше оброблене або використане для прийняття рішення в контексті конкретної задачі або системи керування.

3) агрегація (Aggregation);

Фаза агрегації є одним з важливих етапів механізму нечіткого виводу. На цьому етапі нечіткі висновки, отримані з фази правил нечіткого виводу, об'єднуються для отримання загального висновку або вихідного значення.

У процесі агрегації використовуються різні методи для комбінування нечітких висновків. Одним з найпоширеніших методів є об'єднання нечітких множин. Це означає, що для кожної вихідної змінної формується нечітка множина, в якому кожен елемент має певний ступінь належності.

Варіанти об'єднання нечітких множин включають логічні операції, такі як «max» або «OR», які беруть максимальне значення ступенів належності відповідних елементів. Це дозволяє агрегувати інформацію з різних правил нечіткого виводу.

Крім об'єднання нечітких множин, існують інші методи агрегації, такі як використання середнього значення або взваженого середнього значення з урахуванням ступенів активації правил. Ці методи можуть давати різні результати, залежно від обраної стратегії агрегації.

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Фаза агрегації допомагає звести нечіткі висновки з різних правил до одного загального висновку або вихідного значення. Це дозволяє зробити остаточне рішення або встановити вихідні параметри системи на основі вхідних даних та логіки правил. Важливо вибрати відповідний метод агрегації, який відповідає характеристикам системи та природі вхідних та вихідних даних.

4) дефазифікація (Defuzzification).

Остання фаза механізму нечіткого виводу - це фаза дефазифікації. Після агрегації нечітких висновків отримуємо нечітку множину, яку потрібно перетворити у чітке числове значення або вихідну величину. Цей процес називається дефазифікацією.

Для виконання дефазифікації використовуються різні методи. Один з найпоширеніших методів - це метод центра ваги або метод середнього значення. В цьому методі вираховується центр ваги нечіткої множини, яка являє собою ваговий центр зі значеннями належності. Це значення вважається фінальним вихідним значенням.

Інші методи дефазифікації включають метод максимуму (вибір максимального значення з нечіткої множини), метод середнього максимуму (вибір середнього значення з найвищими ступенями належності) та метод вагового середнього (використання вагованих середніх значень з урахуванням ступенів активації правил).

Остаточне значення, отримане після дефазифікації, відображає чітку величину або вихідний сигнал, який використовується для подальшого прийняття рішень або управління системою.

Вибір конкретного методу дефазифікації залежить від вимог і характеристик системи, а також від природи вихідних даних та контексту задачі. Важливо врахувати, що дефазифікація дозволяє перетворити нечітку величину у конкретне числове значення, що є зрозумілим і використовується для прийняття рішень у реальному середовищі.

2.5 Нечіткий вивід Мамдані

Алгоритми нечіткого виводу різняться, головним чином, за видом використовуваних правил, логічних операцій та методом дефазифікації. Були розроблені моделі нечіткого виводу Мамдані, Сугено, Ларсена, Цукамото.

Детальніше розглянемо нечіткий вивід на прикладі механізму Мамдані (Mamdani) [26]. Це найпоширеніший спосіб логічного виводу у нечітких системах. В ньому використовується композиція нечітких множин за допомогою мінімаксної операції. Цей механізм включає наступну послідовність дій:

1) фазифікація: визначаються ступені істинності, тобто значення функцій належності для лівих частин кожного правила. Для бази правил з m правилами позначимо ступені істинності як $A_{ik}(x_k)$, $i = 1 \dots m$, $k = 1 \dots n$.

2) нечіткий вивід: спочатку визначаються рівні «відсічення» для лівої частини кожного правила:

$$\alpha_i = \min(A_{ik}(x_k)). \quad (2.12)$$

Далі знаходяться «усічені» функції належності:

$$B_i^*(y) = \min(\alpha_i, B_i(y)). \quad (2.13)$$

3) композиція, або об'єднання отриманих усічених функцій, за допомогою максимальної композиції нечітких множин:

$$MF(y) = \max(B_i^*(y)), \quad (2.14)$$

де $MF(y)$ — функція належності кінцевої нечіткої множини.

4) дефазифікація, або переведення в чіткість. Існує кілька методів дефазифікації. Наприклад, метод середнього центру, або центроїдний метод:

$$y^* = \frac{\int_y yB(y)}{\int_y B(y)} \quad (2.15)$$

Геометричний зміст такого значення — центр тяжіння для кривої $MF(y)$.

Процес нечіткого виводу за Мамдані для двох вхідних змінних і двох нечітких правил зображений на рисунку 2.10.

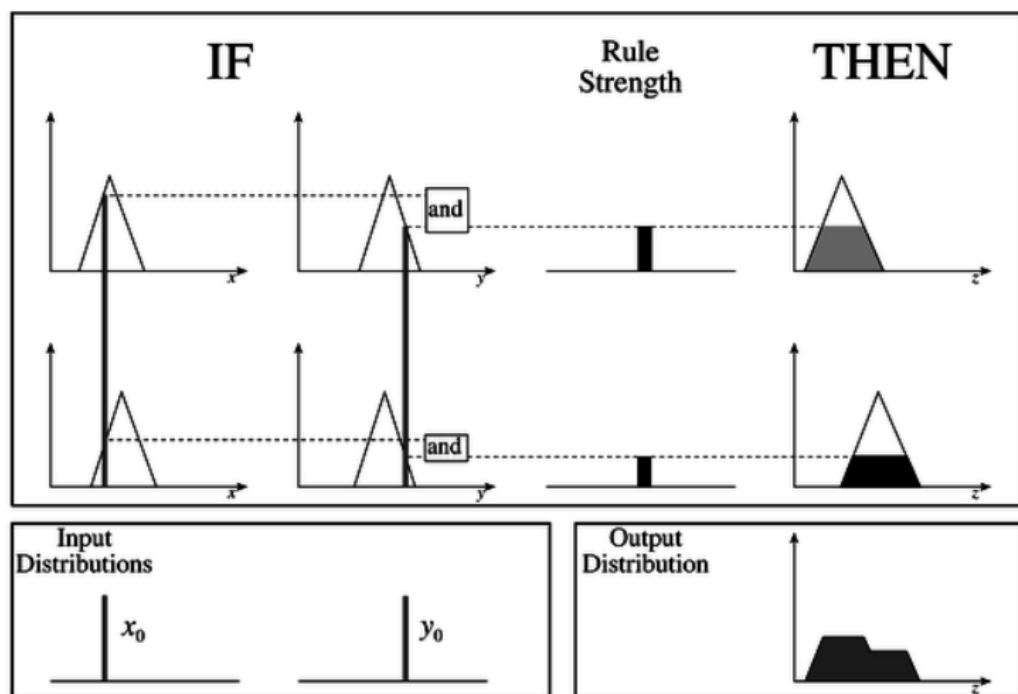


Рисунок 2.10 — Схема нечіткого виводу за алгоритмом Мамдані [27]

Висновки до розділу

Даний розділ повністю був присвячений поясненню та дослідженню нечіткій логіці. Вона бере початок з 60-х років минулого століття, та навіть дотепер стрімко розвивається та активно використовується.

Основою до нечіткої логіки є теорія нечітких множин, яка є окремим розділом теорії множин. Нечіткі множини, як і звичайні, мають логічні операції (наприклад, AND, OR).

Для застосування та розкриття нечітких множин вводяться терміни вхідних та вихідних змінних, які є нечіткими і лінгвістичними змінними.

Для опису ступеня належності об'єкта до певного лінгвістичного терміну або нечіткої множини використовується термін функції належності. Було розглянуто варіацію використань функцій приналежності, а також було досліджено різні види функцій приналежності.

Для зв'язку між вхідними та вихідними змінними використовується та заповнюється база правил, яка містить у собі нечіткі формулювання «IF-THEN» та функції належності для відповідних лінгвістичних термів.

Також було досліджено поетапність виконання механізму нечіткого виводу, та був розглянутий нечіткий вивід по Мамдані, який буде використовуватись у системі керування пральною машиною.

					<i>IA91.0210БАК.004 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

Як було досліджено у попередньому розділі, розробка системи на основі нечіткої логіки має розбиватися на декілька етапів. Спочатку потрібно на основі вже поставлених цілей визначити вхідні та вихідні змінні системи та створити їх у програмному середовищі. Далі потрібно детально заповнити нечітку базу знань, яка буде взаємодіяти з усіма змінними. Після цього потрібно визначити взаємодію системи автоматизованого управління як на самому модулі (мікроконтролері), і також потрібно забезпечити взаємодію модулю з іншими частинами системи.

3.1 Вхідні та вихідні змінні системи

Як зазначено у 2.2, першим кроком у створенні будь-якої нечіткої системи управління є вибір вхідних та вихідних змінних. Далі розглянемо, які змінні відносяться до вхідних змінних системи управління, а які - до вихідних.

Вхідні змінні та вихідна змінна у нечіткій системі управління відрізняються за їхнім призначенням та роллю в процесі управління.

Вхідні змінні є вхідними параметрами або вхідними даними для системи управління. Вони представляють інформацію про поточний стан або характеристики об'єкта управління, на основі яких система приймає рішення. Вхідні змінні можуть бути вимірними фізичними величинами, станами або показниками, які описують об'єкт управління.

З іншого боку, вихідна змінна представляє результат або вплив системи управління на об'єкт. Її значення визначається на основі обчислень та прийнятих рішень в системі. Вихідна змінна може бути фізичною величиною, яка контролюється або регулюється системою, або вона може відображати величину або ступінь активації певної дії чи рішення.

Отже, вхідні змінні надають вхідну інформацію для системи управління, а вихідна змінна відображає результати або вплив системи на об'єкт управління.

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.1 Визначення вхідних змінних системи

Визначення вхідних змінних системи залежить від цілей, які були поставлені для роботи системи у розділі 1.6, а також фізичних характеристик одягу [28]. Далі будуть розглянуті обрані вхідні змінні та можливі способи їхнього вимірювання:

1) вага одягу;

Вага одягу є важливою вхідною змінною для системи пральної машини, оскільки вона дозволяє враховувати обсяг одягу, який потрібно прати. Врахування ваги дозволяє налаштувати оптимальний режим прання, такий як час, оберти або кількість використовуваної води та миючого засобу. Це дозволяє забезпечити ефективне прання та економне використання ресурсів. Зазвичай вага одягу вимірюється перед початком циклу прання.

Пральні машини можуть вимірювати вагу одягу за допомогою вбудованих датчиків і технологій вагового контролю.

Проста та порівняно дешева пральна машина може визначити вагу білизни, яка була завантажена у барабан, але отримана інформація буде приблизною. Цю функцію виконує пресостат, який зображений на рисунку 3.1. Він вимірює рівень рідини, що допомагає визначити вагу брудних речей у барабані.



Рисунок 3.1 — Пресостат Electrolux 3792216040 [29]

Алгоритм роботи пресостата виглядає наступним чином:

- а) закривається дверцята загрузочного люка барабана;
- б) пральна машина починає підвід води, прокручуючи барабан, щоб речі повністю промокли;
- в) пресостат контролює рівень надходження рідини до барабана, необхідної для початку прання, і передає інформацію про швидкість набору рідини на управляючу плату;
- г) електронний модульний пристрій аналізує отриману інформацію і приблизно визначає, яку кількість рідини речі вбирають перед пранням.

Чим повільніше набирається вода в барабан, тим більша вага речей у ньому. Варто зауважити, що пресостат не надає точну інформацію, оскільки легкі матеріали гірше просочуються водою, створюючи враження, що бак пральної машини переповнений. Тим не менше, контроль рівня рідини допомагає заощадити використання води під час прання на двадцять-тридцять відсотків, адаптуючи встановлену програму під уточнені параметри.

Сучасні моделі пральних машин, які мають функцію визначення ваги білизни в барабані, працюють за іншим принципом. Вони здатні точно встановити вагу білизни, яка розміщена в барабані машини з точністю до кілограму. На основі замірів ці пристрої можуть відмовити у запуску процесу прання через надлишкову вагу в барабані або запропонувати власнику використовувати спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє економити електричну енергію та воду.

Вага завантаженої білизни в барабан визначається за допомогою електродвигуна. У таких пральних машинах двигун розташований на валу барабана, що дозволяє відстежувати зусилля обертання та випускну напругу двигуна. На основі отриманих показників процесор пристрою для прання визначає вагу загруженої в барабан білизни.

Особливістю є те, що пральна машина не активує процес прання до уточнення ваги білизни. На звичайних пристроях, після натискання кнопки "Старт", відображається час, необхідний для прання, після чого робочий цикл автоматично починається. Пральні пристрої з функцією автоматичного зважування спочатку уточнюють вагу брудного білизни, а потім пропонують споживачеві певний робочий режим прання з необхідною кількістю рідини, швидкістю віджиму, тривалістю циклу та оптимальною температурою води.

2) тип одягу;

Тип одягу є ще однією важливою вхідною змінною, оскільки різні типи одягу можуть вимагати різних умов прання. Наприклад, деякі матеріали можуть бути більш чутливими до температури або потребувати особливого циклу прання. Врахування типу одягу дозволяє налаштувати оптимальні параметри прання, забезпечуючи безпечне та ефективне прання для різних типів одягу.

Тип одягу можна визначити за допомогою індуктивного підходу у ближньому інфрачервоному спектрі. Наразі вже існують технології, які використовують хвилі інфрачервоного спектру та шляхом аналізу спектральних поглинних піків різних груп матеріалів одягу і зміни їх інтенсивності

					IA91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

визначається склад та відношення компонентів матеріалу одягу., наприклад [30].

3) забрудненість одягу.

Коефіцієнт забрудненості одягу вказує на ступінь забруднення одягу перед пранням. Ця вхідна змінна дозволяє системі пральної машини враховувати рівень бруду та вибрати відповідний цикл прання та інтенсивність очищення. Наприклад, сильно забруднений одяг може вимагати більш тривалого циклу прання або використання додаткових миючих засобів. Врахування коефіцієнта забрудненості допомагає забезпечити ефективне видалення бруду та підтримує якість прання.

Ступінь забрудненості одягу у пральних машинах можна визначити за допомогою кількох методів:

- оптичний датчик: в пральних машинах можуть бути встановлені оптичні датчики, які аналізують зовнішній вигляд одягу, такі як колір, яскравість і плями. На основі цих параметрів пральна машина може оцінити ступінь забрудненості одягу;

- датчик втрати ваги: під час прання одягу в барабані машина може виміряти зміну ваги барабана. Забрудненість одягу може призводити до утворення бруду та розчинених частинок, які можуть бути видалені водою. За допомогою датчика втрати ваги пральна машина може оцінити, наскільки забруднений одяг після процесу прання;

- датчик провідності води: вода, яка використовується в пральній машині, може містити деякі розчинені речовини з бруду одягу. Датчик провідності води може виміряти рівень провідності води під час прання. Чим вищий рівень провідності, тим більше забруднений одяг.

Ці методи можуть використовуватися окремо або комбіновано, щоб визначити ступінь забрудненості одягу у пральних машинах.

Найбільш поширеним з усіх типів датчиків є оптичний. Наприклад, датчик мутності TS-300B, зображений на рисунку 3.2, вимірює мутність (кількість розсіяної речовини) у промивній воді. Заснований на оптичному принципі,

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

датчик використовує світлодіодне джерело та фототранзистор для отримання певної довжини хвилі для вимірювання непрозорості або інших речовин у брудній воді. За допомогою фототранзисторів і світлодіодного джерела, світло, випромінюване датчиком через світлодіодний джерело, проходить через просвітне отвір, і мутність води розраховується на основі кількості отриманого світла.



Рисунок 3.2 — Оптичний датчик TS-300B [31]

Принцип роботи датчика полягає в наступному: коли світильник проходить через певну кількість води, ступінь проникання на світильник залежить від кількості бруду у воді [32]. Зі збільшенням кількості бруду, кількість світла, яке проникає в зразок води, зменшується, і датчик мутності вимірює кількість, передану світильником, щоб розрахувати мутність промивної води.

Датчик мутності забезпечує такі виміри мутності для пральної машини або контролера посудомийної машини, а контролер пральної машини і посудомийної машини визначає тривалість кожного циклу прання. Ці висновки базуються на порівнянні виміряного значення чистої води (виміряного на початку циклу прання) та виміряного значення промитої води (виміряного в кінці циклу прання).

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Шляхом вимірювання мутності промивної води, пральна машина може регулювати час прання для слабо забруднених речей, тим самим економлячи енергію і дозволяючи кінцевому користувачу зберігати енергію.

Приклад розробленої системи з оптичним датчиком наведений у [33].

3.1.2 Визначення вихідних змінних системи

Визначення вихідних змінних напряму залежить від поставлених цілей до роботи системи, зазначені у 1.6.

Кожна з обраних вихідних змінних важлива для нечіткої системи управління пральною машиною з такими причинами:

1) швидкість обертання барабану: визначається швидкість, з якою барабан обертається під час прання. Ця змінна впливає на якість прання, видалення плям та забруднень, а також на використання енергії. Різні типи одягу можуть вимагати різних швидкостей обертання, тому вона важлива для досягнення оптимальних результатів;

2) час прання: встановлення відповідного часу прання дозволяє досягти ефективності та забезпечити необхідну якість прання. Для різних типів тканин і рівнів забруднення можуть бути встановлені різні часи прання;

3) час полоскання: ця змінна визначає тривалість циклу полоскання після прання. Відповідна кількість полоскань допомагає видалити залишки миючого засобу з одягу та забезпечити свіжість та чистоту;

4) температура води: встановлення правильної температури води впливає на ефективність прання та збереження тканин. Різні типи одягу можуть вимагати різних температур, щоб досягти оптимальних результатів;

5) кількість прального засобу: ця змінна визначає кількість прального засобу, який використовується під час прання. Недостатня або надмірна кількість прального засобу може впливати на якість прання та викликати проблеми з видаленням забруднень;

б) кількість використаної води: ця змінна визначає кількість використаної води під час циклу прання. Встановлення оптимальної кількості води допомагає ефективно видаляти забруднення і забезпечувати економію води.

3.1.3 Взаємозв'язок вхідних та вихідних змінних

При проєктуванні системи дуже важливо розуміти вплив однієї змінної на інші, тому була створена діаграма залежностей вхідних та вихідних змінних, яка зображена на рисунку 3.3.

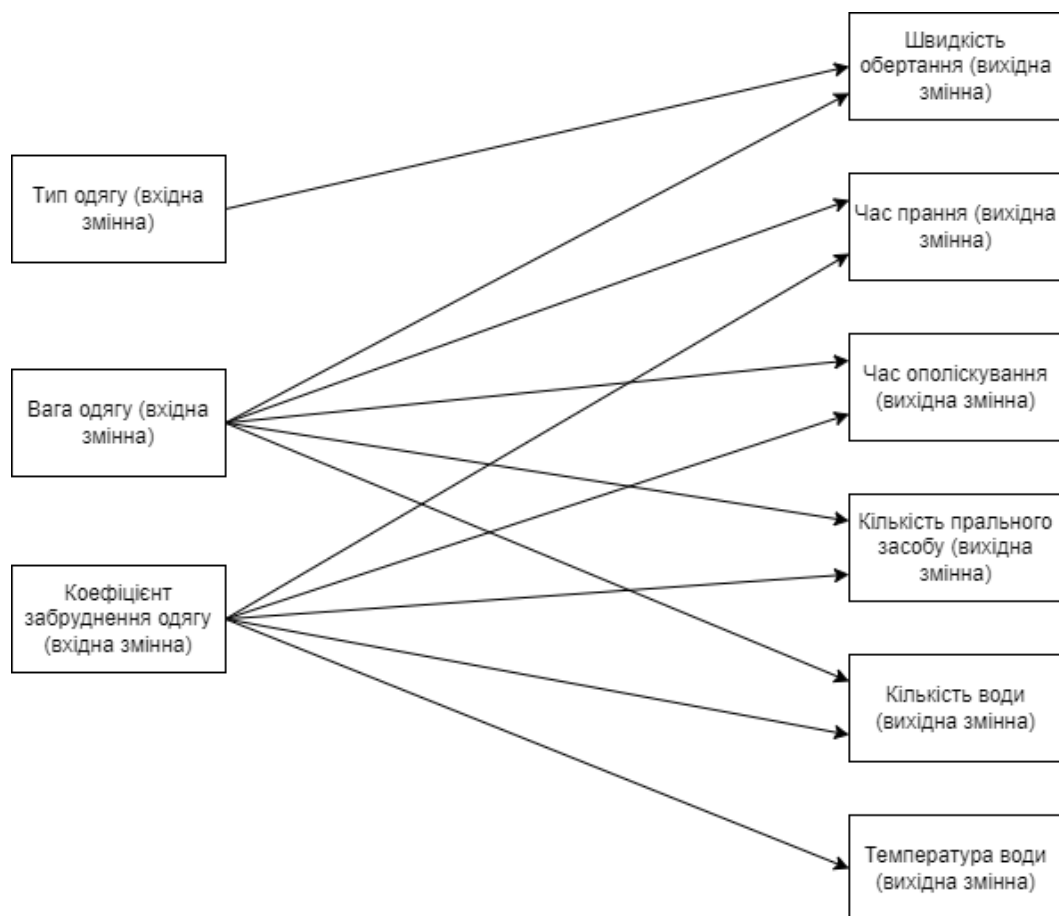


Рисунок 3.3 — Діаграма залежностей вихідних змінних від вхідних у системі

Усі змінні та одиниці вимірювання, які будуть використані при підборі правил, наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 — Змінні системи

Назва змінної	Тип	Позначення в Fuzzy Logic Toolbox	Лінгвістичні терми для змінної	Цифрові дані про змінні	Одиниці вимірювання
Вага одягу	Вхідна	cl_weight	small, normal, big	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	кг
Коефіцієнт забрудненості одягу	Вхідна	cl_dirt	normal, little_dirty, dirty, very_dirty, greasy	0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1	-
Тип одягу	Вхідна	cl_type	thin, thick, jean	0, 0,5, 1	-
Швидкість обертання мотору	Вихідна	spin_speed	200, 400, 600, 800, 1000	200, 400, 600, 800, 1000	об/хв
Час прання	Вихідна	wash_time	10, 20, 30, 40, 50	10, 20, 30, 40, 50	хв
Час ополіскування	Вихідна	rinse_time	5, 10, 15, 20, 25	5, 10, 15, 20, 25	хв
Температура води	Вихідна	water_temp	30, 40, 50, 70, 80	30, 40, 50, 70, 80	°C
К-сть прального засобу	Вихідна	deterg_amount	10, 20, 30, 40, 50	10, 20, 30, 40, 50	гр

Об'єм води	Вихідна	water_a m	30, 40, 50, 60, 70	30, 40, 50, 60, 70	л
------------	---------	--------------	--------------------	-----------------------	---

3.2 Створення функцій належності

Після визначення вхідних та вихідних змінних систем потрібно описати функції належності для кожної змінної для даної нечіткої системи та відповідні нечіткі значення. Система нечіткого виведення для пральної машини у Fuzzy Logic Toolbox показана на рисунку 3.4.

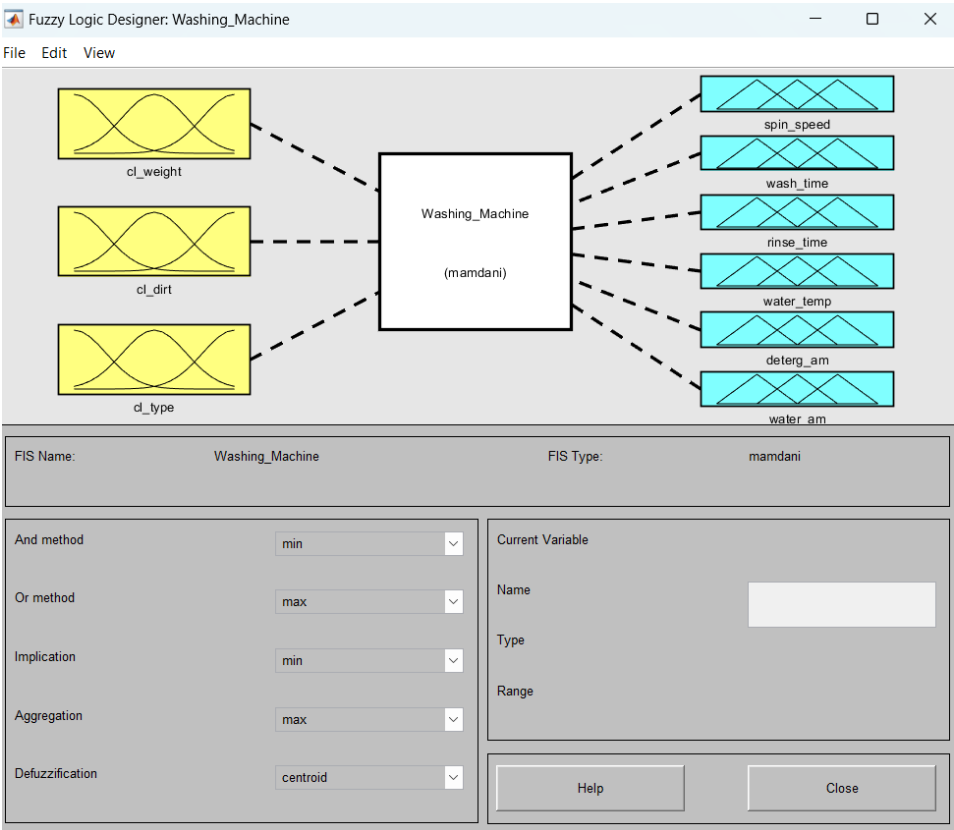


Рисунок 3.4 — Вікно системи нечіткого виведення у Fuzzy Logic Toolbox

У пакеті Fuzzy Logic Toolbox є ряд параметрів, які використовуються для налаштування і керування нечіткими системами. Ось декілька ключових параметрів і їх значення:

- method (метод): це параметр, який визначає метод виведення (інференції) в нечіткій системі. Варіанти можуть включати метод Мамдані, метод Сугено, метод Ларсена тощо. Кожен метод має свої особливості та підходи до виведення результатів;

- or method (метод об'єднання): це параметр, який визначає метод об'єднання (агрегації) нечітких правил. Це може бути метод максимуму (max), метод суми (sum) або метод середнього значення (mean). Цей параметр впливає на обробку внутрішнього впливу нечітких правил на вихідні значення;

- implication (імплікація): це параметр, який визначає метод імплікації в нечіткій системі. Імплікація використовується для визначення впливу вхідних значень на вихідні значення. Деякі варіанти імплікації включають імплікацію Мамдані, імплікацію Заде та імплікацію Мамдані-Заде;

- aggregation (агрегація): це параметр, який визначає метод агрегації нечітких значень в системі. Агрегація використовується для комбінування вхідних та внутрішніх значень для отримання загального нечіткого висновку. Варіанти агрегації можуть включати метод максимуму (Max), метод суми (Sum) та метод середнього значення (Mean);

- defuzzification (дефазифікація): це параметр, який визначає метод дефазифікації для отримання точного числового висновку з нечіткого висновку. Дефазифікація використовується для перетворення нечітких значень у відповідні числові значення. Варіанти дефазифікації можуть включати метод центра ваги (centroid), метод середнього значення (mean of maxima), метод вагового середнього (weighted average) та інші.

В даній системі були взяті параметри, зображені на рисунку 3.4. Форма функцій приналежності була обрана гаусова. Переваги використання гаусової форми:

- гладкість: гаусова функція приналежності має гладку криву, що спрощує обчислення та аналіз. Вона дозволяє плавний перехід між різними рівнями приналежності, що може бути корисним для моделювання змінних, таких як швидкість обертання барабану чи температура води;

					ІА91.0210БАК.004 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- симетрія: гаусова функція приналежності має симетричну форму навколо центрального значення. Це дає можливість розмістити центр функції приналежності у відповідності до оптимального значення вхідної змінної, що спрощує налаштування та інтерпретацію;

- широкий діапазон: гаусова функція приналежності має широкий діапазон варіації. Це дає можливість адаптувати форму функції до різних типів даних та змінних, що зустрічаються у пральних машинах, таких як час прання, кількість прального засобу тощо;

- експоненціальне згасання: гаусова функція приналежності характеризується експоненціальним згасанням від центру до країв. Це дозволяє моделювати поступовий перехід між категоріями та забезпечує більш гладкі та реалістичні результати.

Нижче наведені всі вхідні та вихідні змінні та побудовані у Fuzzy Logic Toolbox функції належності:

- вага одягу;

Значення ваги одягу визначається трьома функціями належності (small, normal, big), які охоплюють діапазон 1-8 кг. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.5.

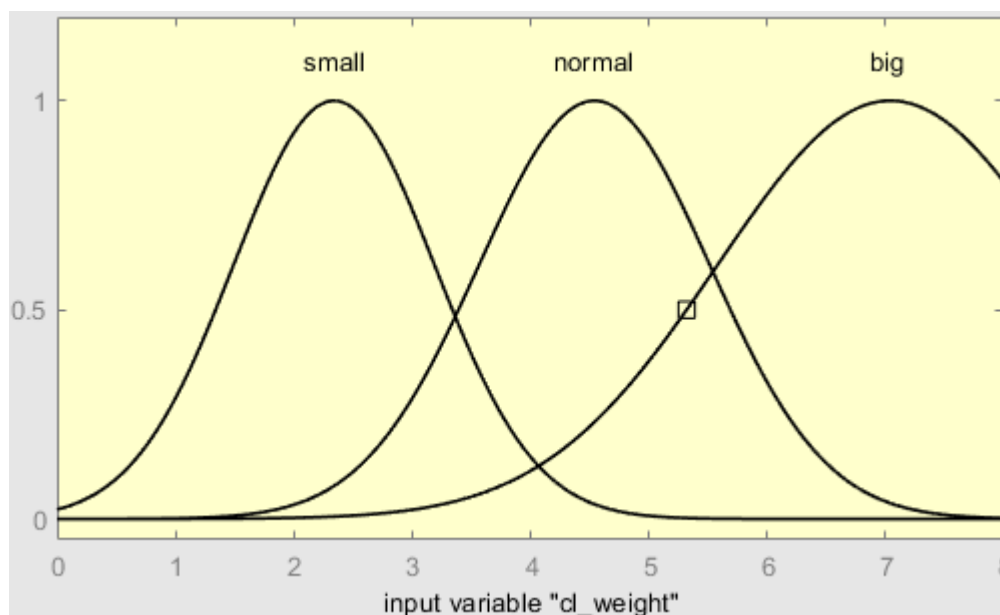


Рисунок 3.5 — Функції належності для змінної «cl_weight»

- коефіцієнт забрудненості одягу;

Усього для цієї змінної є п'ять функцій належності: normal, little_dirty, dirty, very_dirty, greasy, які рівномірно розподілені в діапазоні від 0,2 до 1. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.6.

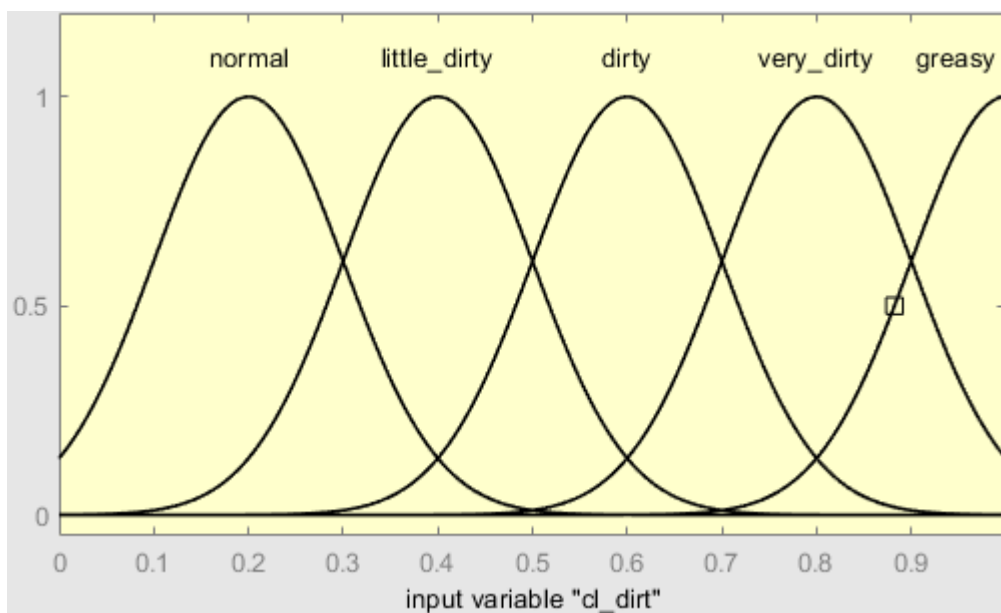


Рисунок 3.6 — Функції належності для змінної «cl_dirt»

- тип одягу;

Усього є три функції належності: thin, thick, jean, рівномірно розподілені від 0 до 1. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.7.

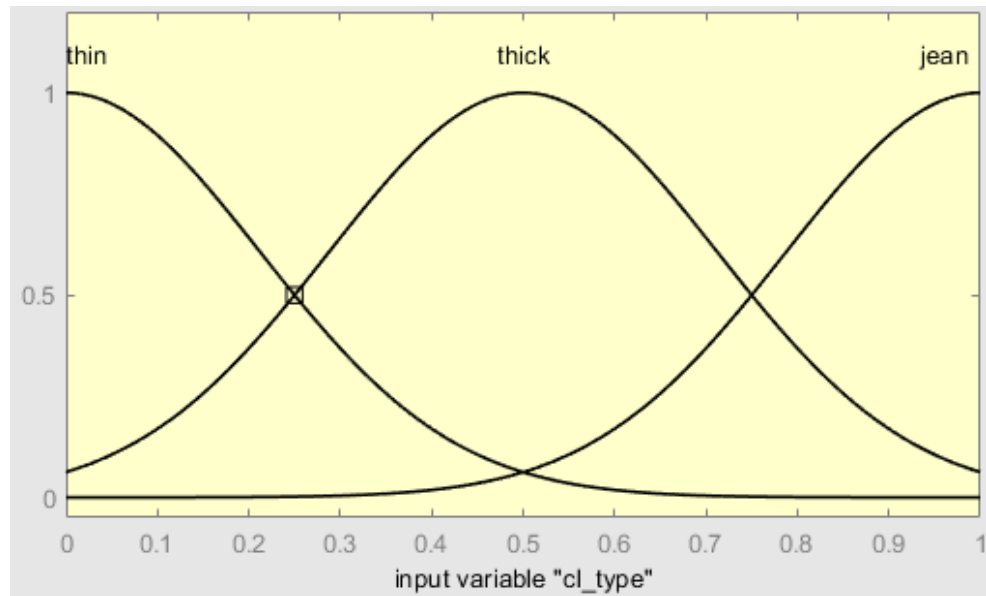


Рисунок 3.7 — Функції належності для змінної «cl_type»

- швидкість обертання барабану;

Функції належності для цієї змінної були взяті в рівномірному діапазоні від 200 до 1000 обертів на хвилину. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.8.

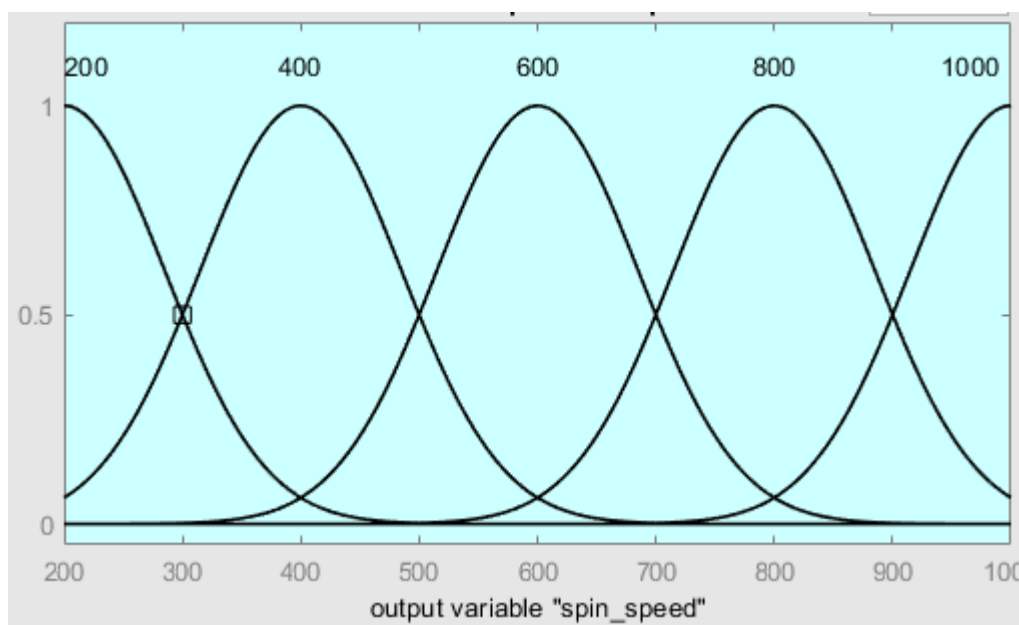


Рисунок 3.8 — Функції належності для змінної «spin_speed»

- час прання;

Було створено п'ять функцій належності відповідно до часу прання - 10, 20, 30, 40, 50 хвилин. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.9.

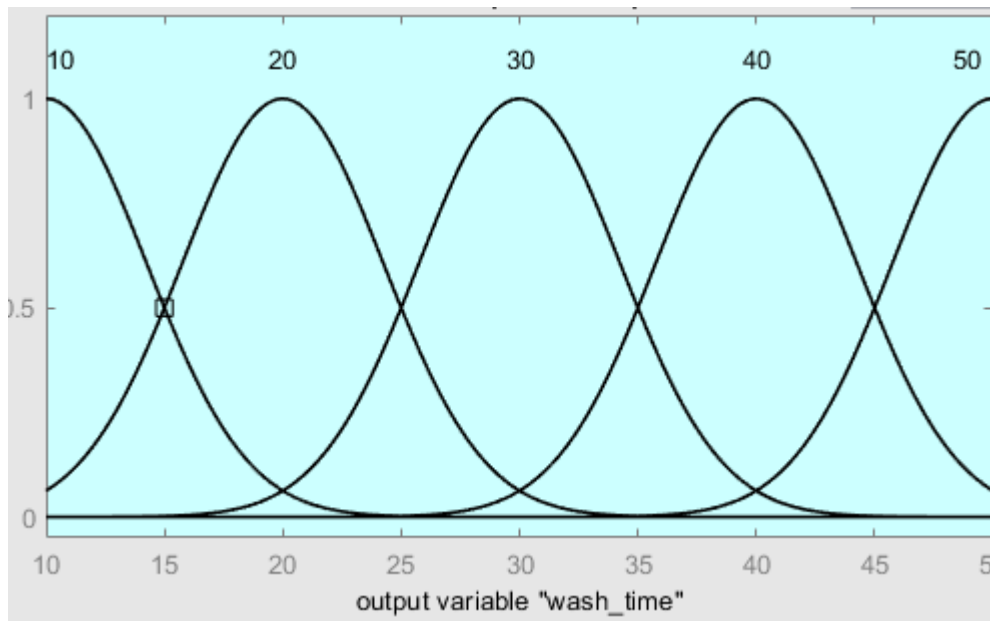


Рисунок 3.9 — Функції належності для змінної «wash_time»

- час ополіскування;

Створено п'ять функцій належності відповідно до часу ополіскування: 5, 10, 15, 20, 25 хвилин. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.10.

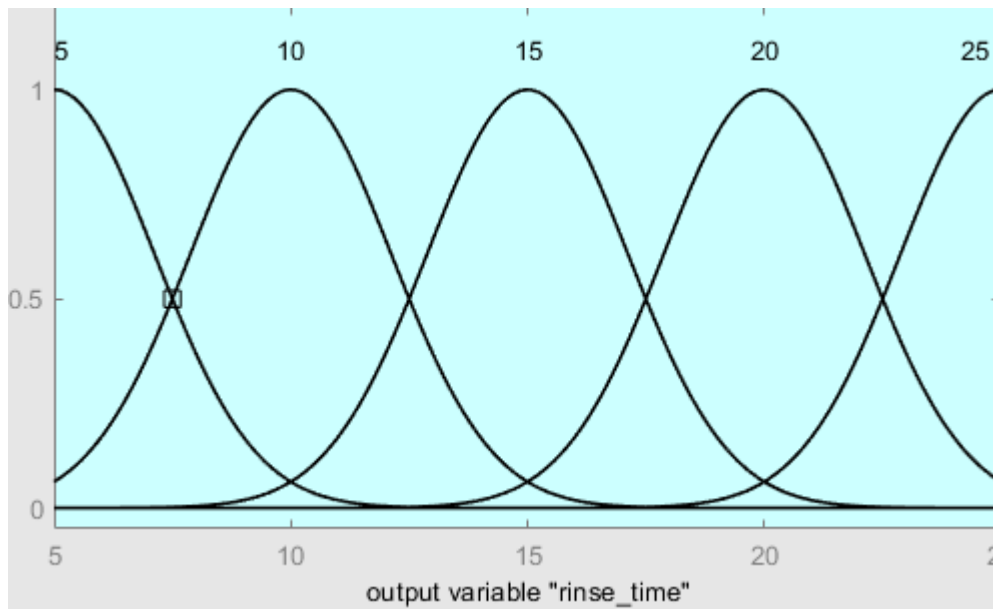


Рисунок 3.10 — Функції належності для змінної «rinse_time»

- температура води;

Створено п'ять функцій належності, в залежності від значень температури: 30, 40, 50, 70, 80 градусів Цельсія. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.11.

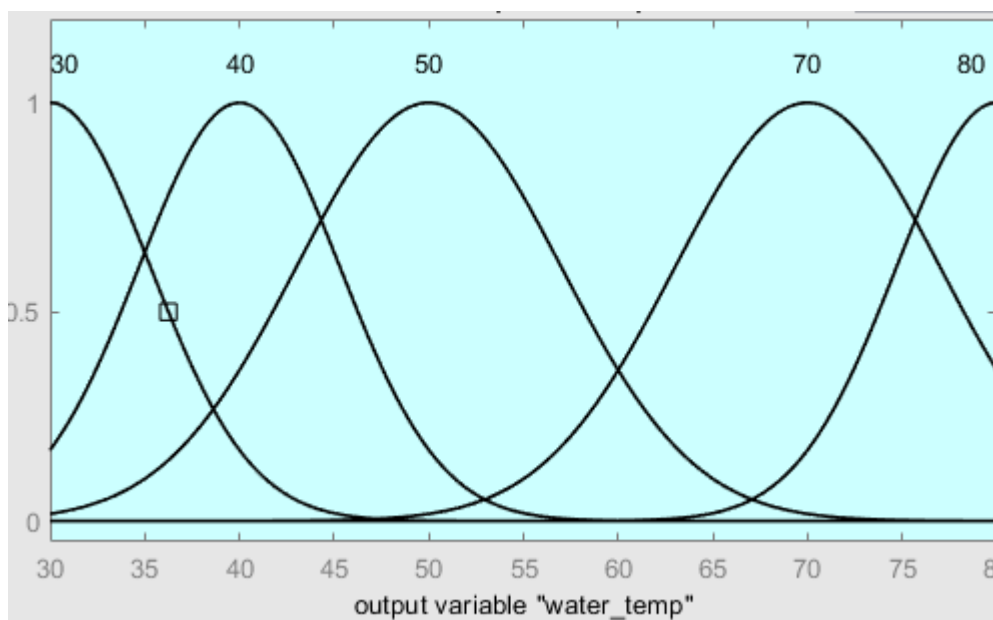


Рисунок 3.11 — Функції належності для змінної «water_temp»

- кількість прального засобу;

Було створено п'ять функцій належності, рівномірно розподілених в діапазоні від 10 до 50 грам. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.12.

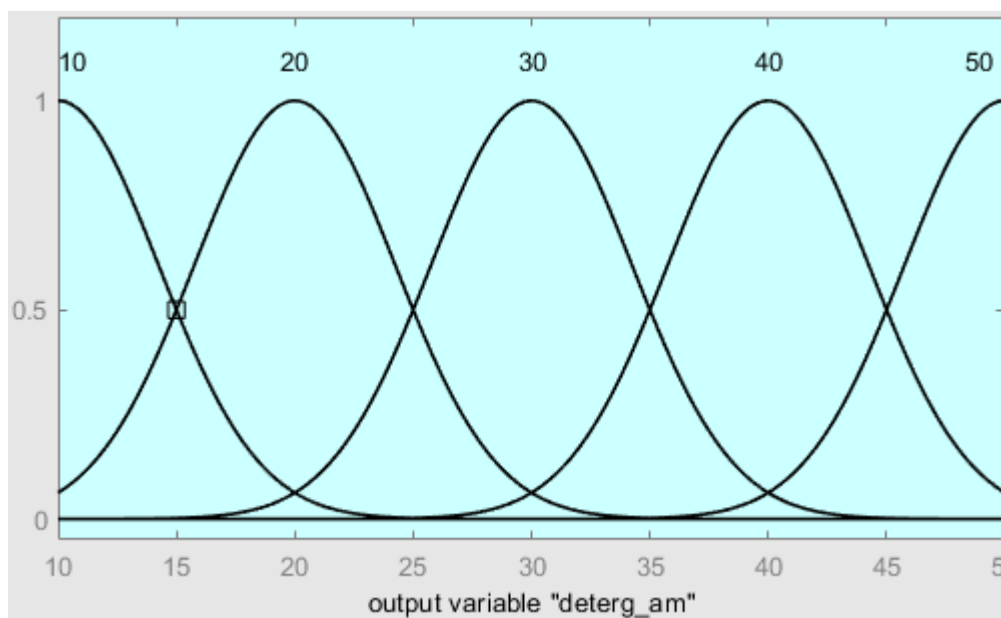


Рисунок 3.12 — Функції належності для змінної «deterg_am»

- об'єм води.

Було створено п'ять функцій належності, рівномірно розподілених в діапазоні від 30 до 70 літрів. Результати побудови функцій належності для даної змінної наведені у рисунку 3.13.

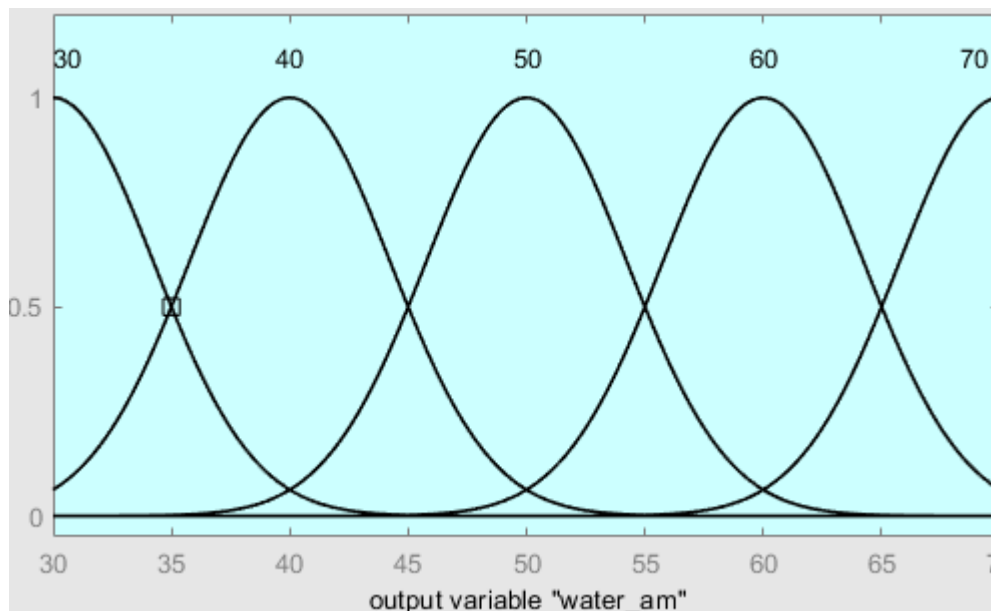


Рисунок 3.13 — Функції належності для змінної «water_am»

3.3 Створення бази правил

Згідно з 3.1.3, було заповнено базу правил для кожної функції належності системи.

Перший блок правил стосується визначення швидкості обертання барабану, вона залежить від ваги одягу та його типу. Результати створення даного блоку правил наведені на рисунку 3.14.

1. If (cl_weight is small) and (cl_type is thin) then (spin_speed is 200) (1)
2. If (cl_weight is normal) and (cl_type is thin) then (spin_speed is 400) (1)
3. If (cl_weight is big) and (cl_type is thin) then (spin_speed is 600) (1)
4. If (cl_weight is small) and (cl_type is thick) then (spin_speed is 600) (1)
5. If (cl_weight is normal) and (cl_type is thick) then (spin_speed is 600) (1)
6. If (cl_weight is big) and (cl_type is thick) then (spin_speed is 800) (1)
7. If (cl_weight is small) and (cl_type is jean) then (spin_speed is 600) (1)
8. If (cl_weight is normal) and (cl_type is jean) then (spin_speed is 800) (1)
9. If (cl_weight is big) and (cl_type is jean) then (spin_speed is 1000) (1)

Рисунок 3.14 — Перший блок правил

Другий блок стосується визначення температури води, вона залежить лише від типу одягу. Результати створення даного блоку правил наведені на рисунку 3.15.

10. If (cl_dirt is normal) then (water_temp is 30) (1)
11. If (cl_dirt is little_dirty) then (water_temp is 40) (1)
12. If (cl_dirt is dirty) then (water_temp is 50) (1)
13. If (cl_dirt is very_dirty) then (water_temp is 70) (1)
14. If (cl_dirt is greasy) then (water_temp is 80) (1)

Рисунок 3.15 — Другий блок правил

Третій блок найбільш об’ємний, у ньому визначаються такі змінні як час прання, час ополіскування, кількість прального засобу та об’єм води. Усі ці вихідні змінні залежать від ваги одягу та ступеню його забрудненості. Результати створення даного блоку правил наведені на рисунку 3.16.

15. If (cl_weight is small) and (cl_dirt is normal) then (wash_time is 10)(rinse_time is 5)(deterg_am is 10)(water_am is 30) (1)
16. If (cl_weight is small) and (cl_dirt is little_dirty) then (wash_time is 10)(rinse_time is 5)(deterg_am is 10)(water_am is 30) (1)
17. If (cl_weight is small) and (cl_dirt is dirty) then (wash_time is 20)(rinse_time is 10)(deterg_am is 20)(water_am is 40) (1)
18. If (cl_weight is small) and (cl_dirt is very_dirty) then (wash_time is 30)(rinse_time is 15)(deterg_am is 30)(water_am is 50) (1)
19. If (cl_weight is small) and (cl_dirt is greasy) then (wash_time is 30)(rinse_time is 15)(deterg_am is 30)(water_am is 50) (1)
20. If (cl_weight is normal) and (cl_dirt is normal) then (wash_time is 20)(rinse_time is 10)(deterg_am is 20)(water_am is 40) (1)
21. If (cl_weight is normal) and (cl_dirt is little_dirty) then (wash_time is 20)(rinse_time is 10)(deterg_am is 20)(water_am is 40) (1)
22. If (cl_weight is normal) and (cl_dirt is dirty) then (wash_time is 30)(rinse_time is 15)(deterg_am is 30)(water_am is 50) (1)
23. If (cl_weight is normal) and (cl_dirt is very_dirty) then (wash_time is 40)(rinse_time is 20)(deterg_am is 40)(water_am is 60) (1)
24. If (cl_weight is normal) and (cl_dirt is greasy) then (wash_time is 40)(rinse_time is 20)(deterg_am is 40)(water_am is 60) (1)
25. If (cl_weight is big) and (cl_dirt is normal) then (wash_time is 30)(rinse_time is 15)(deterg_am is 30)(water_am is 50) (1)
26. If (cl_weight is big) and (cl_dirt is little_dirty) then (wash_time is 30)(rinse_time is 15)(deterg_am is 30)(water_am is 50) (1)
27. If (cl_weight is big) and (cl_dirt is dirty) then (wash_time is 40)(rinse_time is 20)(deterg_am is 40)(water_am is 60) (1)
28. If (cl_weight is big) and (cl_dirt is very_dirty) then (wash_time is 50)(rinse_time is 25)(deterg_am is 50)(water_am is 70) (1)
29. If (cl_weight is big) and (cl_dirt is greasy) then (wash_time is 50)(rinse_time is 25)(deterg_am is 50)(water_am is 70) (1)

Рисунок 3.16 — Третій блок правил

Створення нечіткої моделі можна вважати завершеним. Але у Fuzzy Logic Toolbox також можна аналізувати та проводити дослідження нечіткої моделі. Тривимірні моделі змінних зображені нижче, вони вийшли однаковими для змінних wash_time, зображеної на рисунку 3.17, rinse_time, зображеної на рисунку 3.18, detergent_am, зображеної на рисунку 3.19 та water_am, зображеної на рисунку 3.20. Також на рис. 3.21 зображена тривимірна модель для змінної spin_speed. Модель для вихідної змінної water_temp, зображеної на рисунку 3.22, вийшла двовимірною, тому що вона залежить лише від однієї вхідної змінної.

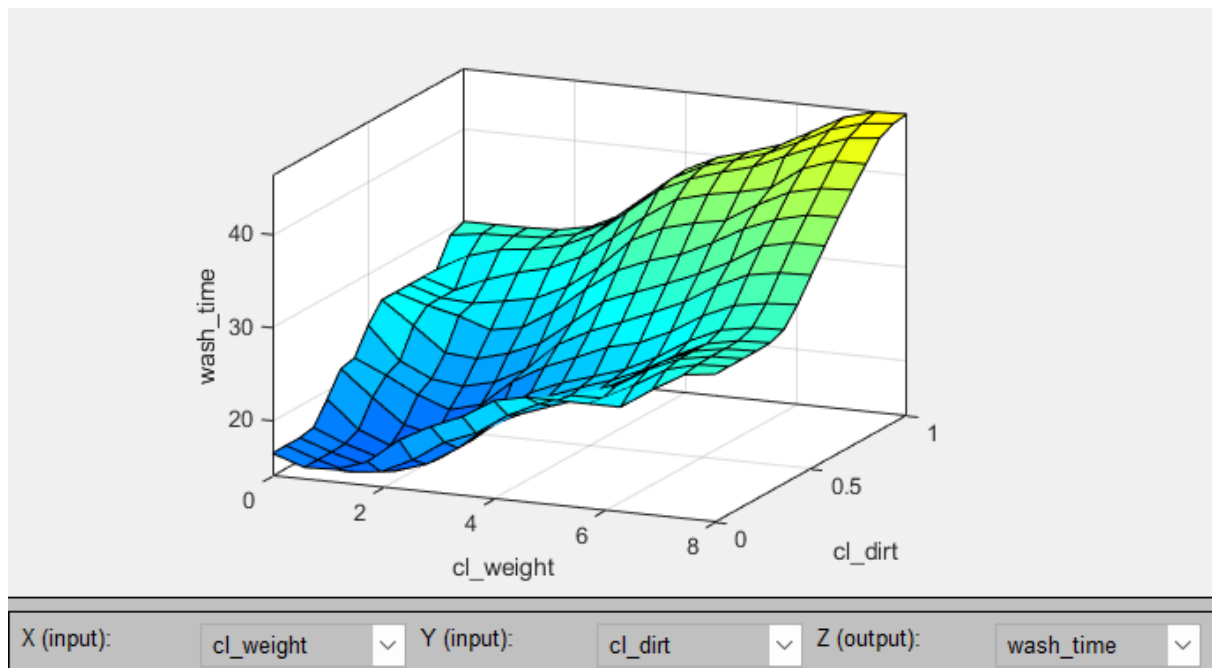


Рисунок 3.17 — Поверхня нечіткого логічного виводу для змінної
«wash_time»

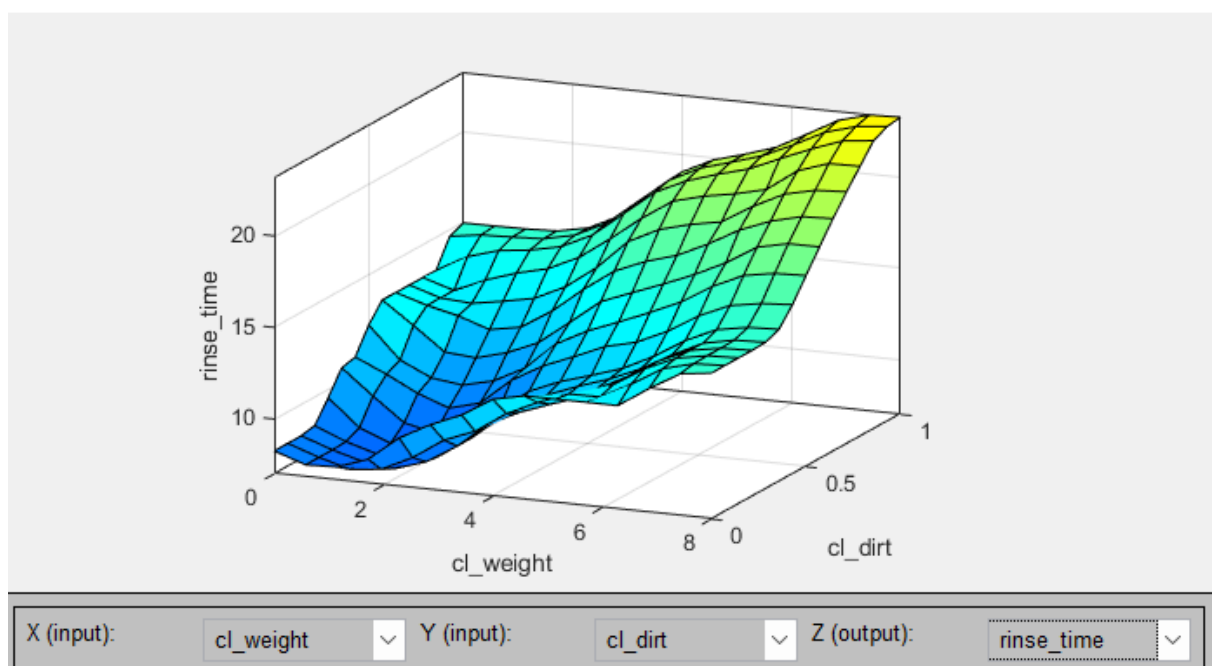


Рисунок 3.18 — Поверхня нечіткого логічного виводу для змінної
«rinse_time»

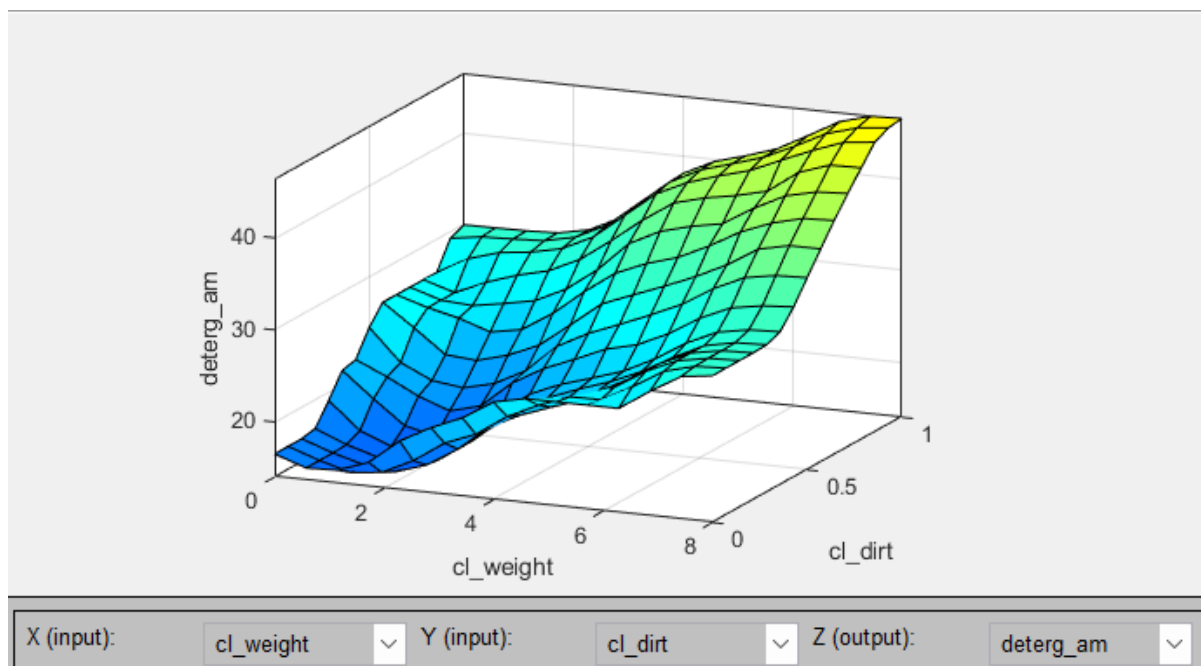


Рисунок 3.19 — Поверхня нечіткого логічного виводу для змінної «deterg_am»

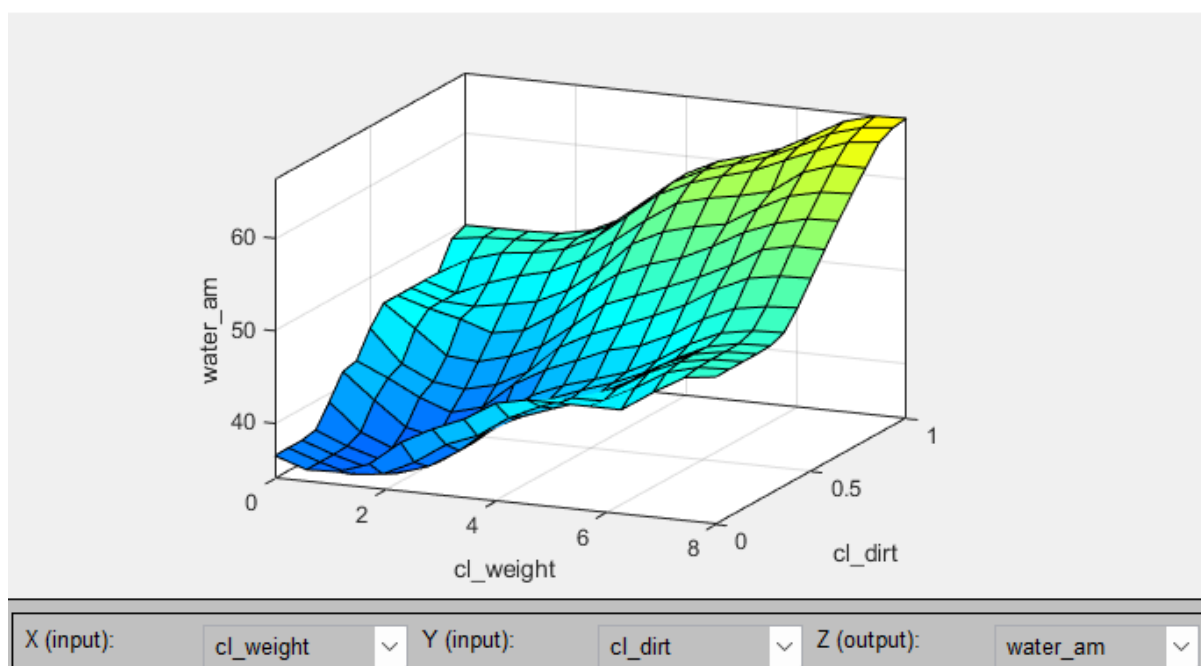


Рисунок 3.20 — Поверхня нечіткого логічного виводу для змінної «water_am»

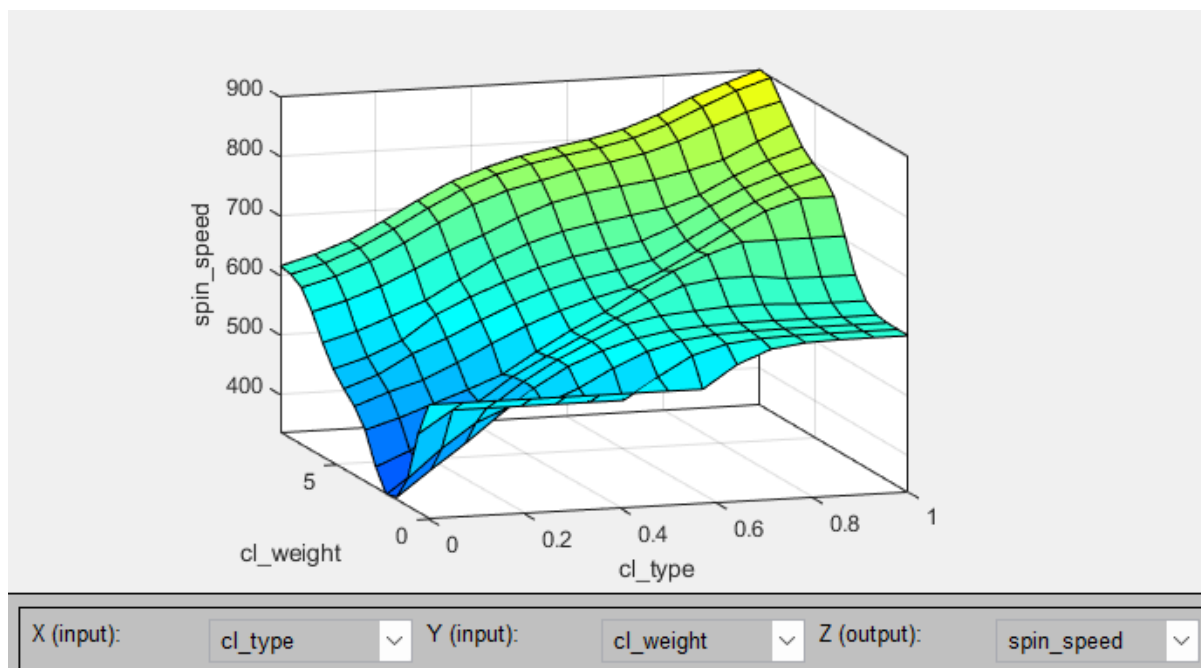


Рисунок 3.21 — Поверхня нечіткого логічного виводу для змінної «spin_speed»

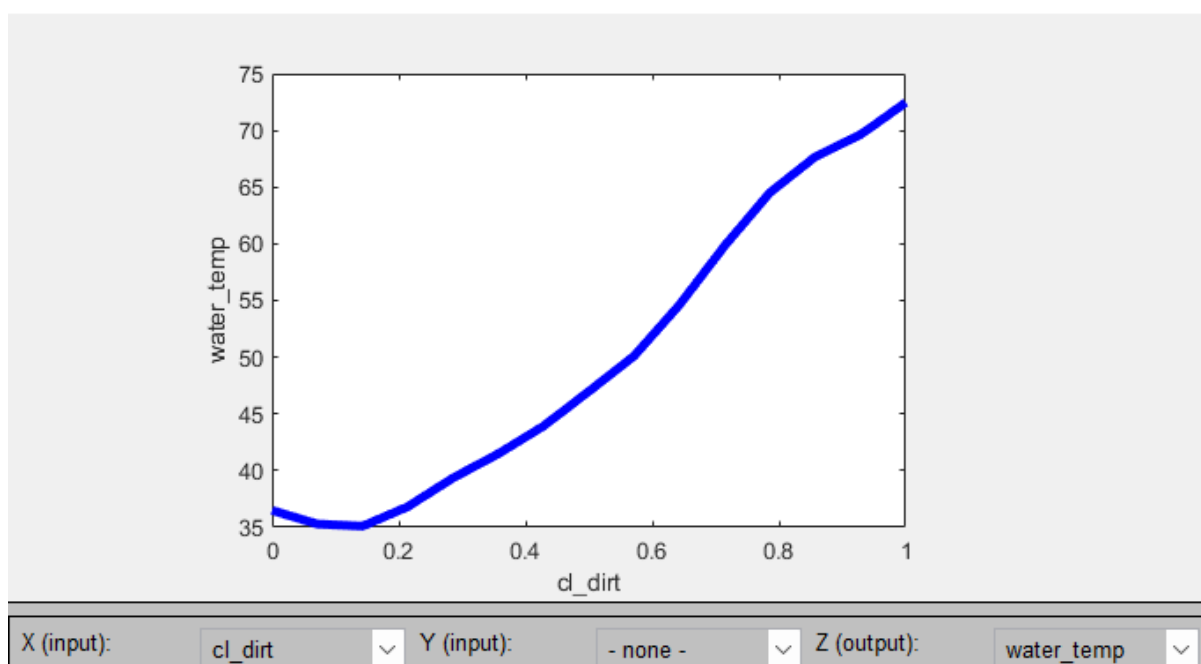


Рисунок 3.22 — Поверхня нечіткого логічного виводу для змінної «water_temp»

У вікні моделювання у Fuzzy Logic Toolbox також можна переглянути залежність вихідних змінних від вхідних. Результат моделювання зображено на рисунку 3.23.

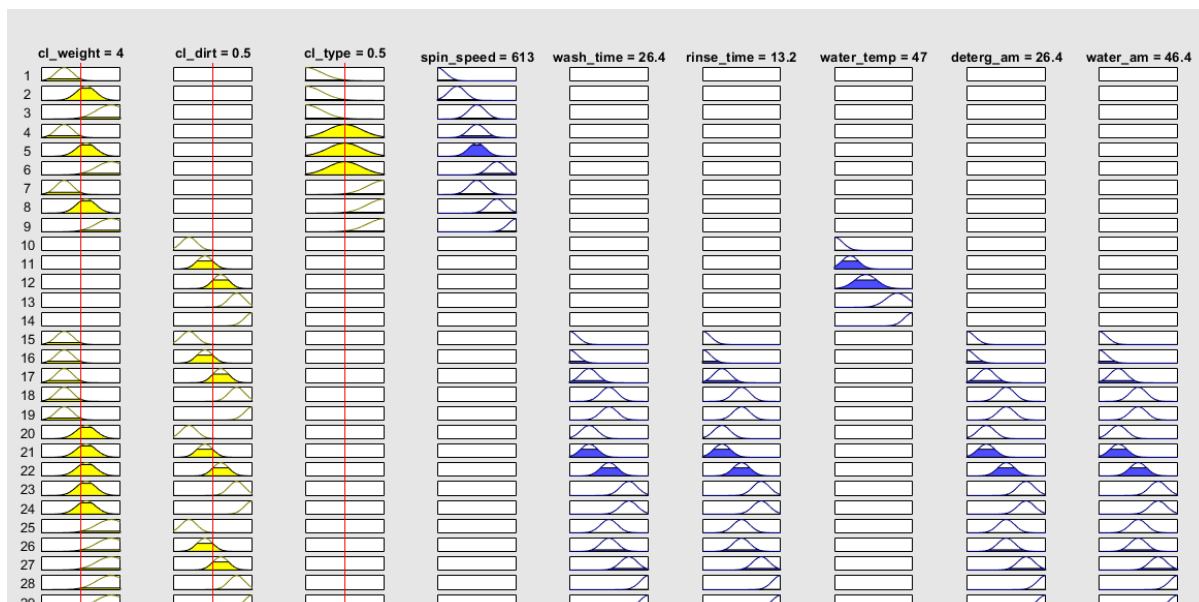


Рисунок 3.23 — Результат моделювання змінних у Fuzzy Logic Toolbox

3.4 Реалізація модуля управління у системі

Модуль управління може бути реалізований на будь-якому сучасному нечіткому контролері. Функціональна схема системи наведена на рисунку 3.24.

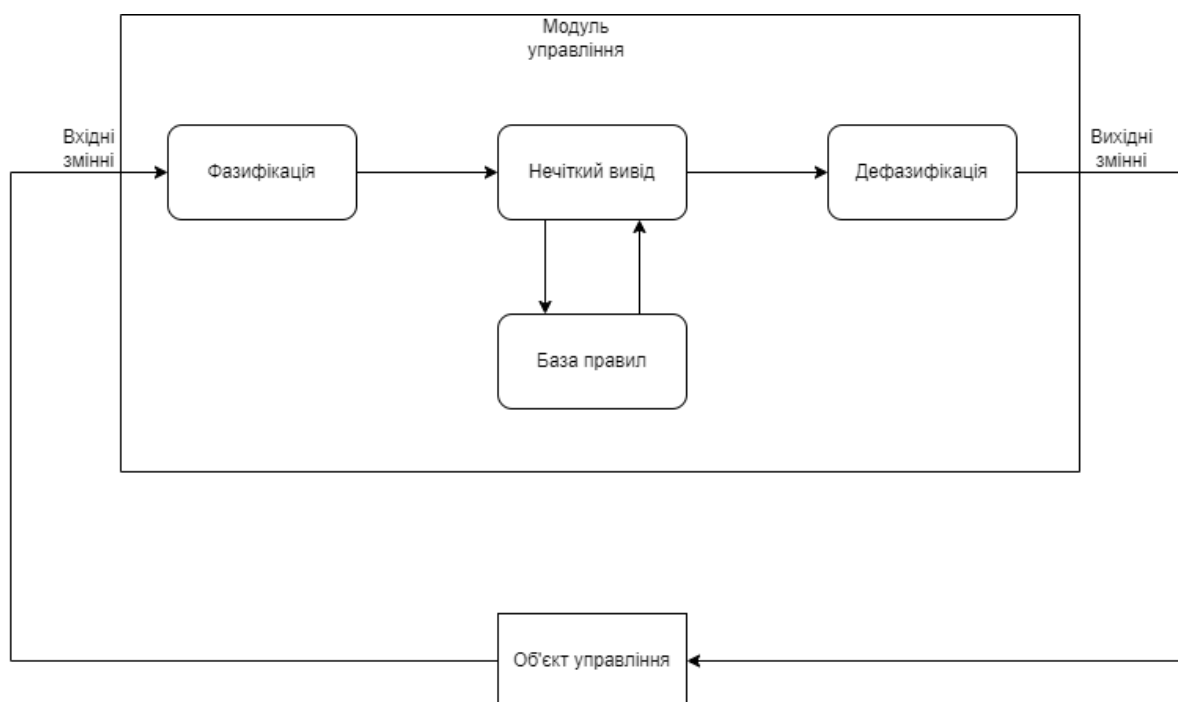


Рисунок 3.24 — Функціональна схема інтеграції модулю у систему

На базі цієї схеми можна довести розробку модуля управління та усієї системи до кінця, за прикладом, наведеним у [34].

Подальше моделювання системи може бути реалізоване за допомогою Arduino, як у [35].

Висновки до розділу

Даний розділ був присвячений реалізації нечіткої логіки у нечіткій системі управління пральною машиною.

Були обрані входні змінні:

- 1) вага одягу;
- 2) тип одягу;
- 3) коефіцієнт забрудненості одягу.

А також, згідно цілей, поставлених у 1.6, були визначені вихідні змінні:

- 1) швидкість обертання барабану;
- 2) час прання;
- 3) час ополіскування;
- 4) температура води;
- 5) кількість прального засобу;
- 6) об'єм води.

Наступним кроком було формування функцій належностей для кожної змінної.

Після цього для кожного функції належності було написано правило. Усього база правил налічує 29 правил.

Система може розширюватись та доповнюватись шляхом додавання змінних та функцій належності, а також модифікацією правил.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто питання створення автоматизованої системи управління пральною машиною на базі нечіткої логіки. Було досліджено та доведено актуальність обраної теми. Виявилось, що «розумні» пральні машини вже користуються попитом, хоча їхня ціна все ще доволі висока для звичайного покупця.

Тим не менш, нечітка логіка має багато можливостей для удосконалення вже існуючих систем. Як було досліджено у 1.5, існуючі на ринку моделі розвиваються, та навіть вже наявні технології покращуються. Пральна машина LG FH-8C3LD вже знята з виробництва з причини своєї неактуальності та застарілості, хоча вона має елементи нечіткої логіки. Кожна провідна компанія пральних машин зараз пропонує свої технології.

У якості підходу до створення системи було обрано нечітку логіку (fuzzy logic), яка базується на теорії нечітких множин. Нечітка логіка має давню історію розвитку з 196 р., і навіть зараз є одним з найсучасніших підходів до проектування систем. Особливість цього підходу полягає у розробленні експертом бази правил нечітких продукцій, яка впливає на роботу системи, і чи більше та точніші правила, тим краще працює система.

У якості інструментарію нечіткої логіки було обрано Fuzzy Logic Toolbox від Matlab. Він надає великий набір функцій та алгоритмів, спеціально розроблених для роботи з нечіткою логікою та має простоту використання та гнучкість.

Цілі, які були поставлені у 1.6, були реалізовані у декілька кроків. Спочатку були описані вхідні та вихідні змінні системи, тобто дані, які надходять на початок, і дані, які ми хочемо отримати в кінці. Також було створено функції належності для кожної змінної для визначення ступеню належності даних до змінної. Наступним кроком було створення бази правил для функцій належності так, щоб кожна функція належності була використана. Усього було створено 29 правил для 3 вхідних змінних та 6 вихідних змінних. Побудовані

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні нечітких виводів для вихідних змінних добре ілюструють те, що заповнення бази правил є дуже важливим етапом в проєктуванні.

Дана система не є кінцевим варіантом. За потреби її можна вдосконалити декількома шляхами:

- 1) збільшити кількість функцій належності та додати більше правил у базу;
- 2) розбити одну нечітку систему на декілька, щоб кожна система працювала виключно над однією задачею. Це буде краще для налаштування точності системи;
- 3) реалізувати систему «у залізі».

В цілому, створена система управління є гнучкою для масштабування, сучасною та актуальною, та за умови реалізації може бути досить ефективною.

					<i>IA91.0210БАК.004 ПЗ</i>	Арк.
						70
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Історія розумного будинку. URL: <https://www.smarthouse.ua/ua/istoriya-umnogo-doma.html> (дата звернення: 20.04.2023).
2. Zadeh L. A. Fuzzy Logic. Software engineers at IDA. 1988. P. 83–85. URL: https://www.scss.tcd.ie/Khurshid.Ahmad/Teaching/Lectures_on_Fuzzy_Logic/00000053.pdf (дата звернення: 21.04.2023).
3. Fuzzy-Based approach using IoT devices for smart home to assist blind people for navigation / S. Tayyaba et al. National Library of Medicine. 2020. P. 1–12. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/13/3674> (дата звернення: 22.06.2023).
4. Bellis M. A Brief history of washing machines. ThoughtCo. URL: <https://www.thoughtco.com/history-of-washing-machines-1992666> (дата звернення: 28.04.2023).
5. Facebook. URL: https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=909342362444398&id=163389563706352&paipv=0&eav=Afb1kx7nZ9CEkZMmhbIY9VXcYulgBfHfOwDjPIrQLR81KETiT0CPfxdyxSGt1cwQDxA&_rdr (дата звернення: 29.04.2023).
6. Fuzzy Logic: what it means in your washing machine | Onsitego Blog. URL: <https://onsitego.com/blog/fuzzy-logic-means-washing-machine/#:~:text=Most%20top%20brands%20of%20washing,Fuzzy%20Logic%20in%20their%20programs> (дата звернення: 01.05.2023).
7. Fuzzy Logic Toolbox. MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> (дата звернення: 03.05.2023).
8. Програмні засоби для синтезу нечітких моделей Fuzzy Logic Toolbox. Прикладні системи штучного інтелекту. Українські підручники та статті – Бібліотека Posibniki.com.ua. URL: <https://posibniki.com.ua/post-programni-zasobi-dlya-sintezu-nechitkih-modelei-fuzzy-logic-toolbox> (дата звернення: 03.05.2023).

					<i>IA91.0210БАК.004 ПЗ</i>	Арк.
						71
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Пральна машина із прямим приводом Inverter Direct Drive™. LG Україна. URL: <https://www.lg.com/ua/washing-machines/lg-FH8C3LD-washing-machine> (дата звернення: 05.05.2023).

10. Пральна машина LG F4V5RS0WW. Comfy.ua. URL: https://comfy.ua/stiral-naja-mashina-lg-f4v5rs0ww.html?gclid=CjwKCAjwp6CkBhB_EiwAlQVyxesOdMROUwvVhvxAU XjIzk2kXOhjapvp8sD089csxPGuOwAChTSiXBoCac8QAvD_BwE (дата звернення: 03.05.2023).

11. Пральна Машина CANDY RO14116DWMCE-S. Candy.net.ua. URL: <https://candy.net.ua/pralna-mashyna-avtomatychna-candy-ro14116dwmce-s?keyword=Candy%20RO14116DWMCE-S> (дата звернення: 03.05.2023).

12. Wulandari N., Abdullah A. G. Design and simulation of washing machine using Fuzzy Logic Controller (FLC). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 384. P. 012044. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/384/1/012044> (дата звернення: 13.05.2023).

13. Fuzzy Logic Based Control System for Intelligent Washing Machines / A. Fadel et al. European Journal of Engineering Science and Technology. 2019. P. 78–88.

14. Dheerawat K., Salma M., Pirzada U. Design of economical fuzzy logic controller for washing machine. Systems and control (eess.sy). 2022. URL: <https://arxiv.org/pdf/2210.00187.pdf> (дата звернення: 13.05.2023).

15. Ahmed T., Ahmad A., Toki A. Fuzzy logic controller for washing machine with five input & three output. International journal of latest trends in engineering and technology (IJLTET). 2016. P. 136–143.

16. Ahmed T., Toki A. A review on washing machine using fuzzy logic controller. International journal of emerging trends in engineering research. 2016. Vol. 4. P. 64–67.

17. Клебанова Т.С., Чаговець Л.О., Панасенко О.В., Нечітка логіка та нейронні мережі в управлінні підприємством: Монографія.-Х.: ВД «ІНЖЕК», 2011. – 240 с.

					<i>IA91.0210BAK.004 ПЗ</i>	Арк.
						72
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Yager R. R., Kreinovich V. Universal approximation theorem for uninorm-based Fuzzy systems modeling. Departmental technical reports (CS). 2010. URL:

https://scholarworks.utep.edu/cs_techrep/497?utm_source=scholarworks.utep.edu/cs_techrep/497&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages (дата звернення: 20.05.2023).

19. Теорія множин - що це таке, визначення та поняття - 2021 - economy-wiki.com. Economy-Pedia.com. URL: <https://uk.economy-pedia.com/11040414-set-theory> (дата звернення: 29.05.2023).

20. Основні поняття теорії нечітких множин. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/16469163/> (дата звернення: 31.05.2023).

21. Zadeh L. Fuzzy sets. Information and control. 1965. Vol. 8. P. 338–353.

22. Fuzzy logic - membership function. eBooks library. URL: https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_membership_function.htm (дата звернення: 02.06.2023).

23. Fuzzy logic membership function. URL: <https://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system/fuzzy-membership-function.html> (дата звернення: 01.06.2023).

24. Kosko B. Fuzzy systems as universal approximators. IEEE Transactions on computers. 1994. Vol. 43, no. 11. P. 1329–1333.

25. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: навч. посіб. / Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна, С.А. Ус, за редакцією С.А. Ус ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 387 с.

26. Mamdani fuzzy inference system – concept. URL: <https://codecrucks.com/mamdani-fuzzy-inference-system-concept/> (дата звернення: 05.06.2023).

27. Fuzzy sets and pattern recognition. Computer Science Department at Princeton University. URL:

					<i>IA91.0210БАК.004 ПЗ</i>	Арк.
						73
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall07/cos436/HIDDEN/Knapp/fuzzy004.htm> (дата звернення: 06.06.2023).

28. How does a smart washing machine work?. URL: <https://elexexplorer.com/2021/05/24/how-does-a-smart-washing-machine-work/#:~:text=Dirt%20sensor:,is%20having%20an%20optical%20detector> (дата звернення: 07.06.2023).

29. Датчик уровня воды для стиральной машины Bosch 627460. URL: <https://zapbt.kz/p64638902-datchik-urovnya-vody.html> (дата звернення: 08.06.2023).

30. Washing machine capable of identifying clothes automatically : пат. CN202671887U Китай. Заявл. 16.01.2013. URL: <https://patents.google.com/patent/CN202671887U/en> (дата звернення: 08.06.2023).

31. Gaodpz TS-300b turbidity sensor detection module water quality test washing machine turbidity transducer. URL: <https://www.amazon.ae/Gaodpz-TS-300B-Turbidity-Detection-Transducer/dp/B087PRH98R> (дата звернення: 07.06.2023).

32. TS-300b sensor датчик потока рідини. URL: <https://www.kosmodrom.ua/datchik-potoku-ridini/ts-300b-sensor.html> (дата звернення: 07.06.2023).

33. Washing machine having optical sensor for detecting light permeability of detergent solution : пат. US5083447A Сполучені Штати Америки (США). Опубл. 28.01.1992. URL: <https://patents.google.com/patent/US5083447A/en> (дата звернення: 07.06.2023).

34. Cordon O., Herrera F., A General study on genetic fuzzy systems // Genetic Algorithms in engineering and computer science, 1995. – P. 33-57.

35. Salau, Ayodeji & Takele, Haymanot. (2022). Towards the Optimal Performance of Washing Machines Using Fuzzy Logic. Scientific Programming. 2022. 1-11. 10.1155/2022/8061063.

					<i>IA91.0210БАК.004 ПЗ</i>	Арк.
						74
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		