

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та БЖД

## Дипломна робота

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ  
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА ТРАНСПОРТІ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



І. В. Грайворонська

Керівник, канд. техн. наук, доц.



Н. В. Діденко

Студент гр. ММ-61-22



Д. Р. Талків

Харків – 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

Освітній рівень - магістр

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

 **О. І. Богатов**

«11» жовтня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Дмитро Руслановичу Талківу**

1. Тема роботи: «Дослідження методів нечіткої логіки в інтелектуальних вимірвальних інформаційних системах на транспорті».

Керівник роботи Діденко Наталя Вікторівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від «11» жовтня 2023 р. №130.

2. Строк подання студентом роботи 30 листопада 2023 р.

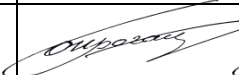

3. Вхідні дані до роботи 1). Методи нечіткої логіки. 2). Застосування інтелектуальних вимірвальних інформаційних систем на транспорті. 3). Системи на транспорті та алгоритми їх функціонування на підставі застосування методів нечіткою логіки. 4). Формування структури систем із застосуванням методів нечіткою логіки.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ. 2. Огляд науково-технічних джерел щодо методів нечіткої логіки та застосування інтелектуальних вимірвальних інформаційних систем на транспорті. 3. Дослідження можливостей реалізації завдань на транспорті методами нечіткою логіки. 4. Функціонування систем на транспорті із застосуванням методів нечіткою логіки, визначення метрологічних вимог до вимірвальних каналів..

5. Охорона праці; 6. Висновок; 7. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
Не передбачено.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
5	Богатов О. І.		

7. Дата видачі завдання «19» вересня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічних джерел щодо методів нечіткої логіки	19.09.2023	виконано
2	Огляд науково-технічних джерел щодо застосування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті	29.09.2023	виконано
3	Визначення можливостей реалізації завдань на транспорті методами нечіткою логіки.	10.10.2023	виконано
4	Функціонування систем на транспорті із застосуванням методів нечіткою логіки та визначення метрологічних вимог.	20.10.2023	виконано
5	Формування висновків по роботі. Оформлення дипломної роботи	30.10.2023	виконано
6	Підготовка презентації та доповіді	10.11.2023	виконано

Студент гр. ММ-61-22

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Д. Р. Талків**

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Н. В. Діденко**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 84 с., 12 рис., 2 табл., 14 джерел.

ВИМІРЮВАННЯ, ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВИМІРЮВАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, МЕТОДИ НЕЧІТКОЇ ЛОГИКИ, НЕЧІТКА ЛОГИКА, СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Об'єкт дослідження – інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи на транспорті.

Мета роботи – забезпечення функціонування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті на підставі застосування методів нечіткої логіки.

Метод дослідження – теоретичні. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях метрології щодо забезпечення єдності вимірювань, допускового контролю, методів синтезу та аналізу, теорії систем, теорії ймовірності та математичної статистики і теорії нечіткої логіки.

В магістерській роботі проведено:

- огляд методів нечіткої логіки;
- огляд інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті з метою визначення доцільності застосування таких систем;
- дослідження можливості та доцільності застосування методів нечіткої логіки під час забезпечення функціонування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті.
- дослідження допустимої похибки вимірювання величин, які необхідні для функціонування систем на транспорті.

Наведені результати досліджень щодо застосування метрологічних вимог до вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем, в яких використовуються методи нечіткої логіки.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1.Огляд науково технічних джерел щодо методів нечіткої логіки та застосування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті.....	8
1.1 Огляд науково-технічних джерел щодо методів нечіткої логіки.....	8
1.2 Огляд науково-технічних джерел щодо забезпечення функціонування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті.....	21
2 Забезпечення функціонування систем на транспорті із застосуванням методів нечіткою логіки .....	27
2.1 Аналізування переваг застосування методів нечіткої логіки у системах на транспорті.....	27
2.2 Застосування методів нечіткої логіки у системах на практиці.....	35
3 Визначення складу системи на транспорті та алгоритму її функціонування на підставі застосування методів нечіткої логіки.....	40
3.1 Визначення загальних вимог до складу систем.....	40
3.2 Розроблення алгоритму функціонування системи на підставі застосування методів нечіткої логіки.....	45
4 Визначення метрологічних вимог до вимірювальних каналів систем, які застосовують методи нечіткої логіки.....	50
4.1 Визначення вимог до вимірювальних каналів систем.....	50
4.2 Встановлення метрологічних характеристик вимірювальних каналів системи, яка застосовує методи нечіткої логіки .....	56
5 Охорона праці.....	64
Висновки.....	71
Перелік посилань.....	73
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи .....	75

## ВСТУП

В умовах зростання в Україні обсягів пасажирських перевезень і розвитку конкуренції між транспортними підприємствами актуальною проблемою стає удосконалення системи управління транспортними процесами. Вирішення завдання підвищення якості транспортного обслуговування жителів міст і ресурсозбереження на транспорті вимагає створення систем управління з адаптивними властивостями, що передбачає реалізацію принципу відповідності пропозиції потребам у транспортних послугах, врахування зовнішніх і внутрішніх умов функціонування транспортної системи міста.

У зв'язку з цим необхідність застосування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті значно зростає. Такі системи застосовуються з різними цілями для планування та моніторингу усіх видів транспорту та перевезень. Також вони застосовуються для надання транспортно-експедиційних послуг, магістральних перевезень, внутрішньої міської адресної доставки. Ці системи дозволяють планувати маршрути, відстежувати пересування машин, фіксувати події на маршруті та передавати статуси, розподіляти заявки та вантажі за видами машин та адрес, з урахуванням більш ніж 100 факторів. За допомогою цих систем менеджери та керівники підприємств можуть відстежувати всі процеси в режимі он-лайн та приймати управлінські рішення оперативно.

Відсутність інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем для управління транспортом приводять до таких проблем, як :

- висока собівартість перевезень.
- неефективне використання транспорту.
- процес планування будується на основі суб'єктивної думки.
- неможливо змінювати маршрути в режимі он-лайн.
- немає інформації для аналітики.
- використовуються додаткові не виправдані ресурси та витрати.

Під час розроблення таких систем доцільно використовувати можливості нечіткої логіки. Нечітка логіка, як математична наука, служить розширенням класичної логіки і заснована на концепції часткової правди, яка знаходиться десь посередині між "так" і "ні". Предметом нечіткої логіки вважається вивчення міркувань за умов нечіткості, розмитості, подібних з міркуваннями у звичному значенні, та його застосування у різних системах.

Застосування методів нечіткої логіки в інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем для управління транспортом надають значні переваги приймання оптимальних рішень поставлених перед системою завдань. Однак, для їх функціонування необхідно визначитися з метрологічними вимогами, які повинні бути встановлені до вимірювальних каналів таких систем.

# 1 ОГЛЯД НАУКОВО ТЕХНІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТІ

## 1.1 Огляд науково технічних джерел щодо методів нечіткої логіки

Огляд теорії нечіткої логіки та застосовних методів проведений на підставі ряду джерел [1-3]. Під час проведення такого огляду була поставлена мета визначення можливості застосування цієї теорії для інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем управління транспортом. Останнім часом теорія нечіткої логіки знаходить застосування під час вирішення багатьох організаційних питань. Для створення будь-якої системи на транспорті методи нечіткої логіки надають можливість вирішувати будь-які питання. Це обумовлено тим, що теорія нечіткої логіки застосовується для формального запису реалізації алгоритму дій та рішень спеціаліста, що дозволяє використовувати її для автоматичного функціонування системи прийняття рішень. Нечітка логіка застосовується для формального запису знань експерта, що дозволяє їх використовувати для автоматичного прийняття рішень, аналогічних рішенням експерта. Під час побудови такої системи на транспорті в залежності від поставленого завдання встановлюються критерії та правила прийняття рішень у залежності від отриманої ситуації. Таким чином, така інтелектуальна вимірювальна інформаційна система автоматично оцінюють обрані параметри та приймає рішення, виходячи із значень параметрів та правил прийняття судження у конкретній ситуації.

Нечітка логіка (англ. fuzzy logic) – розділ математики, що є узагальненням класичної логіки і теорії множин, що базується на понятті нечіткої множини, вперше введеного Лотфі Заде в 1965 як об'єкта з функцією приналежності елемента до множини, що приймає значення від 0 до 1. Lotfi A. Zadeh (Лотфі Заде) опублікував дослідження "Fuzzy Sets", в якому викладалися, крім теорії нечітких множин, основи нечіткої логіки Заде



зазначив, що звичайна двійкова логіка, використовується в комп'ютерній техніці, не може оперувати даними, які являють собою невизначені чи суб'єктивні судження [4]. У зв'язку з цим нечітка логіка, запропонована Заде, була актуальною і дозволяла «навчити» технічні пристрої функціонувати подібно процесу людського мислення. Перша система управління технічним пристроєм – малим паровим двигуном на базі нечіткої логіки була розроблена Mamdani (Мамдані). Алгоритм управління на базі нечіткої логіки, запропонований Мамдані, складається з набору евристичних правил для керування пристроєм. Нечіткі множини та нечітка логіка використовуються для подання мовних термів та оцінки складених правил. Дані дослідження залучили інтерес як дослідників, так і промисловості до нечіткої логіки та до систем управління з їхньої основи; Слід зазначити, що цей тип управління актуальне і досі.

Основоположниками використання нечіткої логіки в технічних системах є Lotfi, Askar, Zadeh, Ebrahim Mamdani, Michio Sugeno та Tomohiro Takagi.

У 1989 році Сугено розробив адаптивний регулятор на основі нечіткої логіки – двадцять лінгвістичних правил керували рухом автомобіля. Кожне лінгвістичне правило, виходячи з показів швидкості та відстані від заданої траєкторії, керувало становищем керма. Також Сугено спільно з Такагою продовжили роботи Заде та Мамдані і вивели узагальнену модель регуляторів з нечіткою логікою, яка застосовується для систем з явною нелінійною структурою, яка також використовується на дослідження стійкості таких систем.

Традиційна двійкова логіка побудована на рішеннях: так – ні, "правда" – "неправда", "нуль" – "один". З іншого боку, нечітка логіка оперує також і рішеннями, які лежать між «правдою» та «неправдою».

Таким чином, у разі застосування теорії нечіткої логіки всі судження ґрунтуються не на класичній двозначній або багатозначній логіці, а на логіці з нечіткими значеннями істини, з нечіткими зв'язками і нечіткими правилами виведення. При цьому нечіткість сприймається як універсальна реальність.

Оперувати з нечіткими множинами всередині жорстких рамок класичної математики дозволяє теорія нечітких множин. Теорія нечітких множин дозволяє структурувати все, що поділено не дуже точними межами [5].

Під час побудови такої системи на транспорті оцінюється множина суджень про виконання заданих вимог і параметрів. Елементами цієї системи будуть залежності впливу виконаних вимог і параметрів за метою функціонування системи. Тому для побудови математичних моделей управління транспортною системою для забезпечення необхідної гнучкості прийняття рішень доцільно використовувати методи нечітких множин.

Розглянемо опис принципів функціонування системи управління транспортом використовуючи методи нечітких множин.

Виходячи з теорії нечітких множин [6] відповідно до правил функціонування системи та ієрархії функцій системи і параметрів можна виділити окремі множини, що складаються з підмножин, які характеризують конкретні функції та параметри системи. По кожній множині формується нечітка кількість оцінок впливу конкретної вимоги або параметра на рішення за конкретною функцією в залежності від наявної ситуації.

У загальному випадку кожен нечітку множину можна охарактеризувати функцією приналежності, заданою на множині  $X$  і приймаючої значення в множині чисел  $[0,1]$ :  $\mu_A(x) \in [0,1]$ ,  $x \in X$ , при цьому  $\mu_A(x)$  вказує на ступінь приналежності елемента  $x$  множини  $X$  нечіткій підмножині  $\tilde{A}$ . В даному випадку множина  $X$  є множиною вимог або параметрів.

Нечітким підмножиною  $\tilde{A}$  множини  $X$  називається сукупність пар виду  $\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x))\}$ , где  $x \in X$ , а  $\mu_A$  – функція приналежності, що ставить у відповідність множині  $X$  значення у діапазоні  $[0,1]$ .

Значення функції приналежності для кожного елемента  $x$  із множини  $X$  називається ступенем приналежності елемента  $x$  нечіткій множині  $\tilde{A}$ .

Поняття функції приналежності є найважливішим поняттям нечіткої логіки.

Нечітким предикатом називаються нечіткі логічні формули, які визначені на якійсь множині  $X$  і приймають свої значення із замкнутого інтервалу  $[0,1]$ .

На множині параметрів нижнього рівня  $\{\Pi_n\}$  і пов'язаній з нею множині ознак параметрів для прийняття оптимальних рішень  $\{\Pi_p\}$  відповідно до встановленої ієрархічної структури параметрів та вимог нечіткий предикат «відповідає конкретній ситуації» приймає деякі значення з діапазону  $[0,1]$  і відповідно задає нечіткі підмножини  $\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x))\}$  для  $x \in \{\Pi_p\}$  для кожного параметра множини  $\{\Pi_n\}$ .

Ці множини  $\tilde{A}$  утворюються на основі розгляду фактичного виконання ознак по кожному параметру для нижнього рівня структури по кожній групі параметрів, а значення функції приналежності, що присвоюються, відповідають ступеню виконання цих ознак. Під час прийняття рішення системою щодо параметрів та вимог нижнього рівня ієрархічної структури перевіряються їх виконання відповідно до прийнятих принципів функціонування системи, що відповідає присвоєнню значення функції приналежності нижнього рівня параметрів встановленої для конкретної системи ієрархічної структури параметрів та вимог.

Таким чином, виконання кожного параметра нижнього рівня з множини  $\{\Pi_n\}$  буде оцінено конкретним значенням функції  $\mu_A(\Pi_p)$ . А сукупність значень функцій приналежності параметрів для конкретного параметра вищого рівня з кожної гілки ієрархічної структури визначатиме функцію прийняття рішення у залежності від значення кожного параметра.

Приймаючи максимально допустимий рівень відповідності кожного параметра як одиницю, можна визначити функцію невідповідності для кожного параметра. Для цього необхідно знайти доповнення нечіткої множини, що характеризує рівень відповідності вимогам за цим параметром. Доповненням нечіткої множини  $\tilde{A}$  називається нечітка множина  $\neg\tilde{A}$ ,  $x \in X$ , таке, що  $\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)$ , для  $x \in X$ .

Для отримання загальної функції прийняття оптимальних рішень під час створення системи управління транспортом необхідно встановити ієрархічну

структуру вимог і параметрів та поставити у відповідність відображення функцій на відповідних рівнях ієрархічної структури з певними операціями теорії нечітких множин.

При розробці будь-якої системи на транспорті в залежності від її призначення заплановані операції повинні враховувати особливості перетворення для різних рівнів ієрархічної структури в оцінці:

- функцій прийняття рішення лише на рівні заданих параметрів;
- функцій прийняття рішення лише на рівні вимог;
- результуючої функції прийняття рішення щодо її достатності (відповідність бажаної).

На початковому етапі оцінки функції прийняття рішення всі параметри нижнього рівня набувають відповідних значень функції приналежності. На наступних етапах оцінки на основі отриманих значень функцій належності формуються функції прийняття рішення на кожному рівні ієрархічної структури спочатку для параметрів, а потім і для вимог, зазначених в ієрархічній структурі.

При цьому матиме значення, в області яких параметрів – прийнятих чи заданих – проводиться оцінка щодо виконання параметрів вищого рівня. Для підвищення достовірності оцінки рівня прийняття рішення за конкретним параметром необхідно враховувати ступінь впливу на цей параметр функцій прийняття рішення за параметрами, що підтверджують його. Для цього можна як перетворення  $g(x)$  в області прийнятих параметрів використовувати опуклу комбінацію множин. Під опуклою комбінацією множин  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \dots, \tilde{A}_n$  розуміється нечітка множина  $\tilde{A}$  з функцією приналежності  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ , для якої:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \sum \lambda_i \mu_{A_i}(x),$$

де  $\lambda_i$  - коефіцієнт вагомості, що враховує ступінь впливу функцій якості параметрів на вищестоящий параметр з кожної гілки ієрархічної структури,

$$\lambda_i \geq 0 \text{ при } i = 1, \dots, n.$$

Ступінь впливу нижчестоящих параметрів на вищестоящий і відповідний коефіцієнт вагомості  $\lambda_i$  залежатиме від того, до яких параметрів – заданих чи прийнятих – відносяться параметри, що впливають, і визначається в процесі розробки методики виконання функції конкретної системи.

При цьому використовуючи операцію опуклої комбінації множин для області прийнятих параметрів, отримують функцію прийняття рішення для нижчого рівня області заданих параметрів через функції належності параметрів  $(i-1)$  рівня.

Якщо прийняті параметри в даній ієрархічній структурі системи не використовуються, то виконаним заданим параметрам (за відсутності ознак виконання даного параметра) надається функція належності  $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq 0,9$  і функція прийняття рішення буде формуватися, починаючи з наступного рівня з кожної гілки ієрархічної структури.

Маючи функції прийняття рішення параметрів  $i$  – того рівня, що належать до параметра  $(i+1)$  рівня, можна отримати функцію приналежності для параметра  $(i+1)$  рівня. При цьому як перетворення  $h(x)$  використовується операція перетину декількох нечітких множин, що описують параметри попереднього рівня.

При використанні операції перетину, наприклад, для двох нечітких множин  $\tilde{A}$  і  $\tilde{B}$ , результуюча нечітка множина визначається як  $\tilde{A} \cap \tilde{B} = \{x, \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x)\}$ ,  $x \in X$ , а функція приналежності елементів до цієї нечіткої множини  $\tilde{A} \cap \tilde{B}$  визначається як  $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min \{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\} = \mu_{\tilde{A}}(x) \& \mu_{\tilde{B}}(x)$ .

Використовуючи операцію перетину для параметрів на кожному рівні в кожній галузі ієрархічної структури, отримують результуючі функції приналежності як функції якості параметрів верхнього рівня ієрархічної структури.

Використовуючи операцію перетину для параметрів верхнього рівня, одержують результуючі функції для відповідних вимог, а потім вимоги верхнього рівня ієрархічної структури. Таким же чином, на наступному етапі, маючи певну функцію прийняття рішення для кожної вимоги у вигляді деякої

функції приналежності, за допомогою функції перетину визначають загальну функцію під час функціонування системи. Отримана результуюча функція описуватиме рівень функціонування системи щодо виконання поставлених для неї завдань. Для прийняття рішень щодо отриманої функції прийняття рішень проводять порівняння з бажаною функцією системи, для чого використовується операція нечіткої відповідності.

Нехай  $X$  – множина, що описує загальну функцію якості, а  $Y$  – множина прийнятих рішень про відповідність їх рівня необхідному. Нечіткою відповідністю між множинами  $X$  і  $Y$  є множина  $\tilde{\Gamma} = (X, Y, \tilde{F})$ , у якій  $X, Y$  – деякі чіткі множини,  $\tilde{F}$  – нечітка множина у  $X \times Y$ . Носієм нечіткої відповідності  $\tilde{\Gamma} = (X, Y, \tilde{F})$  є відповідність  $\Gamma = (X, Y, F)$ , у якій графік  $F$  є носієм нечіткого графіка  $\tilde{F}$ .

Нечітка відповідність може бути задана теоретико-множинно, графічно та в матричному вигляді.

Для теоретико-множинного завдання нечіткої відповідності необхідно перерахувати елементи множин  $X$  і  $Y$  і задати нечітку множину  $F$  в  $X \times Y$ .

У матричному вигляді нечітка відповідність  $\tilde{\Gamma} = (X, Y, \tilde{F})$  задається за допомогою матриці інцидентів  $R\tilde{\Gamma}$ , рядки якої позначені елементами  $x_i \in X$  ( $i = \{1, 2, \dots, n\}$ ), стовпці – елементами  $y_j \in Y$  ( $j = \{1, 2, \dots, m\}$ ), але в перетині рядка  $x_i$  та  $y_j$  ставиться елемент  $r_{ij} = \mu F(x_i, y_j)$ , де  $\mu F$  – функція приналежності елементів множини  $\tilde{F}$ .

Нечітку відповідність можна задати у вигляді орієнтованого графа з безліччю вершин  $X \cup Y$ , кожній дузі  $(x_i, y_j)$  якого приписується значення  $\mu F(x_i, y_j)$  функції приналежності.

Для нечіткої множини  $\tilde{A}$  в  $X$  з функцією приналежності  $\mu \tilde{A}(x)$ , що характеризує результуючу функцію прийняття рішення, і нечіткої відповідності  $\Gamma = (X, Y, F)$ , що характеризує функцію перетворення  $f(x)$ . Нечітка множина  $\tilde{\Gamma}(\tilde{A})$  у  $Y$  визначається виразом:

$$\tilde{\Gamma}(\tilde{A}) = \{\mu \tilde{\Gamma}(\tilde{A})(y), y\}, y \in Y,$$

де  $\mu_{\tilde{\Gamma}(\tilde{A})}(y) = (\mu_{\tilde{A}}(x) \& \mu_F(x, y))$ .

Таким чином, операція нечіткої відповідності визначає процедуру прийняття рішень про достатність отриманої результуючої функції відповідно до поставленої перед системою мети.

Після визначення загальної реальної функції прийняття рішень під час функціонування системи чи оцінки ступеня невідповідності прийнятого рішення використовується ступінь нечіткого включення  $v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b)$ . Для двох множин значень  $\tilde{\Phi}_p$  і  $\tilde{\Phi}_b$ , що характеризують реальну та бажану функції, ступінь включення  $v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_j)$  нечіткої множини  $\tilde{\Phi}_p$  у нечітку множину  $\tilde{\Phi}_j$  визначається як

$$v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b) = \& (\mu_P(x) \& \mu_b(x)).$$

Отримане значення ступеня нечіткого включення  $v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b)$  визначає значення комплексного показника правильності  $K_\Sigma$ :

$$K_\Sigma = \min(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b).$$

Якщо позначити допустимий рівень невідповідності  $K_{\text{доп}}$ , то якщо  $v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b) \geq K_{\text{доп}}$ , то система виконала умову відповідності необхідному рівню прийняття рішень.

Якщо  $v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b) < K_{\text{доп}}$ , то система не виконала умову відповідності необхідному рівню прийняття рішень.

Окрім результуючої функції, отримані функції прийняття рішень на кожному рівні ієрархічної структури системи дозволяють оцінити найкращі можливості щодо прийняття рішень у конкретній ситуації.

Якщо виконується умова  $v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b) \geq K_{\text{доп}}$ , то отримане значення  $v_{\max}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_b)$  характеризує найкращі можливості системи забезпечення критерію відповідності і є верхньою межею або верхнім рівнем діапазону відповідності.

Якщо  $v_{\max}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_c) = K_{\text{доп}}$  та  $v_{\min}(\tilde{\Phi}_p, \tilde{\Phi}_c) = K_{\text{доп}}$ , то система виконала умову відповідності необхідному рівню прийняття рішення на гранично допустимому рівні.

Цілком найкращі можливості системи описуються максимальною функцією  $\Phi_{\max}(x)$ , яка визначається за допомогою операції об'єднання нечітких множин на кожному рівні по кожній гілці ієрархічної структури.

Таким чином, повний опис рівня прийняття рішень за кожним параметром або вимогою забезпечуватиметься при врахуванні не лише результуючої функції  $\Phi_p(x)$ , а й максимальної функції  $\Phi_{\max}(x)$ .

Основна ідея нечіткої логіки полягає в тому, що поняття та висловлювання можуть бути нечіткими або невизначеними, і їхня істинність може бути виражена у вигляді чисел в інтервалі від 0 до 1. Наприклад, замість того, щоб говорити, що “температура в кімнаті висока”, ми можемо сказати, що “температура у кімнаті дорівнює 0,8”, де 0,8 – це ступінь істинності цього висловлювання.

Нечітка логіка ґрунтується на понятті нечіткої множини, яка є безліччю елементів, кожному з яких присвоєно ступінь приналежності до даної множини. Наприклад, безліч "високих температур" може містити елементи, такі як 25 °С, 30 °С і 35 °С, і кожному з них може бути присвоєний ступінь належності, наприклад, 0,6; 0,8 і 0,9 відповідно.

Нечітка логіка знаходить широке застосування у різних галузях, таких як штучний інтелект, управління системами, прийняття рішень тощо. Вона дозволяє врахувати невизначеність та нечіткість у реальних ситуаціях та приймати більш гнучкі та адаптивні рішення.

Нечітка логіка полягає в нечітких множинах і принципі нечіткого зв'язку. Ось основні принципи нечіткої логіки:

- принцип нечіткості. Принцип нечіткості полягає в тому, що об'єкти та явища можуть мати нечіткі грані та невизначені характеристики. На відміну від класичної логіки, яка працює тільки з бінарними значеннями (істина чи



неправда), нечітка логіка дозволяє працювати з нечіткими чи невизначеними значеннями;

- принцип нечіткого зв'язку. Принцип нечіткого зв'язку у тому, що між об'єктами і явищами існують нечіткі відносини, які можна висловити з допомогою нечітких правил. Нечіткі правила визначають, як вхідні дані впливають вихідні дані у нечіткою системі;

- принцип нечіткої інференції. Принцип нечіткої інференції полягає в тому, що на основі нечітких правил та нечітких відносин можна робити висновки та приймати рішення. Нечітка інференція дозволяє врахувати невизначеність та нечіткість у даних та приймати гнучкі та адаптивні рішення;

- принцип нечіткої агрегації. Принцип нечіткої агрегації полягає в тому, що нечіткі значення можуть бути об'єднані або агреговані для отримання загального результату. Це дозволяє врахувати різні аспекти та фактори при прийнятті рішень;

- принцип нечіткої декомпозиції. Принцип нечіткої декомпозиції у тому, що складні нечіткі системи можуть бути розбиті більш прості компоненти для аналізу та управління. Це дозволяє спростити моделювання та керування нечіткими системами.

Ці принципи є основою нечіткої логіки і дозволяють врахувати невизначеність і нечіткість у реальних ситуаціях, що робить її корисною та ефективною у різних галузях застосування.

Основні елементи нечіткої логіки включають такі поняття:

- нечітка множина – це множина, в якій кожен елемент має ступінь приналежності до цієї множини, виражену числом від 0 до 1. Нечітка множина дозволяє врахувати невизначеність і нечіткість в описі об'єктів або явищ;

- функція приналежності визначає ступінь належності кожного елемента до нечіткої множини. Вона приймає значення від 0 до 1 і може бути задана у різний спосіб, наприклад, за допомогою графічної кривої або математичної формули;

- лінгвістична змінна – це змінна, яка визначає якісні характеристики об'єктів чи явищ. Вона може приймати нечіткі значення, які визначаються нечіткими множинами та функціями приналежності. Найважливішою особливістю у нечіткій логіці є уявлення знань у нечітких міркуваннях як лінгвістичних змінних.

- нечітке правило – це правило, яке визначає зв'язок між вхідними та вихідними змінними у нечіткій системі. Воно складається з умови, що визначає значення вхідних змінних, та висновків, що визначає значення вихідних змінних;

- нечітка система – це система, яка використовує нечітку логіку прийняття рішень чи управління процесами. Вона складається з нечітких змінних, нечітких правил і методів виведення, які дозволяють перетворити нечіткі вхідні дані на нечіткі вихідні дані.

Ці основні елементи нечіткої логіки дозволяють врахувати невизначеність і нечіткість в описі та управлінні об'єктами або явищами, що робить нечітку логіку корисною та ефективною у різних галузях застосування.

У нечіткій логіці особливістю є уявлення знань у нечітких міркуваннях як лінгвістичних змінних. Прикладом лінгвістичної змінної може бути оцінка швидкості автомобіля – «швидкість автомобіля «ШВИДКА»». Таким чином, лінгвістична змінна – це значення, описане за допомогою природної мови із застосуванням нечіткої множини, зокрема, з за допомогою функцій приналежності.

Найважливішим поняттям нечіткої логіки є поняття функції приналежності.

Нехай  $U$  – універсальна множина. Нечітка множина  $U$  характеризується функцією приналежності, яка приймає значення в інтервалі  $[0,1]$ . Нечітка множина  $A$ , що належить  $U$ , може бути представлено парою елементів – значення  $x$  та його значення.

Розглянемо приклад опису за допомогою лінгвістичних змінних температури навколишнього середовища наведену в градусах Цельсія. Кожна

лінгвістична змінна представлена у вигляді трикутної функції приналежності. Можна при цьому застосовувати такі лінгвістичні змінні як «Дуже холодно», «Холодно», «Тепло», «Жарко».

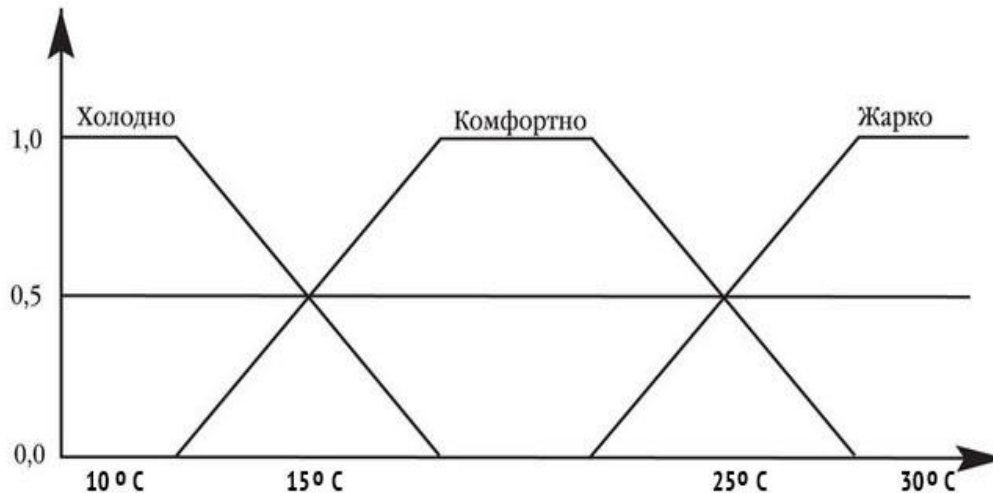


Рисунок 1.1 – Реалізація лінгвістичних змінних

Нечітка логіка знаходить широке застосування у різних галузях, де невизначеність і нечіткість відіграють важливу роль. Ось деякі приклади:

- управління транспортними системами. Нечітка логіка може бути використана для керування транспортними системами, такими як світлофори, системи керування трафіком та автоматичні системи паркування. Вона дозволяє врахувати різні фактори, такі як щільність трафіку, час доби та погодні умови для оптимізації роботи системи та покращення ефективності;

- прогнозування погоди. Нечітка логіка може бути застосована для прогнозування погоди, особливо у випадках, коли є невизначеність або нечіткість даних. Вона дозволяє врахувати різні фактори, такі як температура, вологість, тиск і швидкість вітру для передбачення погодних умов з високою точністю;

- управління енергосистемами. Нечітка логіка може бути використана для управління енергосистемами, такими як енергозберігаючі системи, сонячні та вітрові електростанції. Вона дозволяє оптимізувати використання енергії з

огляду на різні фактори, такі як споживання енергії, доступність джерел енергії та екологічні обмеження;

- медична діагностика. Нечітка логіка може бути застосована в медичній діагностиці для визначення ймовірності наявності певного захворювання на основі нечітких симптомів та показників. Вона дозволяє врахувати невизначеність та нечіткість у даних, що допомагає лікарям приймати більш точні та надійні рішення.

Однак, у будь-якому застосуванні методів нечіткої логіки слід визначитися з реалізацією вимірювань величин, на підставі результатів яких формуються судження нечіткої логіки.

## 1.2 Огляд науково-технічних джерел щодо забезпечення функціонування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті

Для застосування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті є в наявності велика кількість завдань. Однак вирішення цих задач вимагає наявності достовірної вимірювальної інформації. Наприклад, однією з важливих завдань функціонування таких систем є організація роботи міського транспорту [7, 8]. В багатьох країнах та великих містах України організація роботи міського транспорту приділяється велика увага. Застосування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем для вирішення завдання організації роботи транспорту надає можливість одержувати керівникам транспортних організацій та пасажиром своєчасну інформацію про рух міського транспорту та важливі зміни у його роботі.

Учасниками транспортного процесу є пасажирів й транспортні підприємства, їх взаємодія наведена на рисунку 1.2. Метою діяльності підприємств транспорту є повне задоволення потреб населення і суспільного виробництва в перевезеннях.

Досягнення зазначеної мети на міському пасажирському транспорті передбачає послідовне вирішення наступного комплексу завдань:

- виконання зонування території міста; складання матриці пасажирських кореспонденцій між зонами;
- вибір раціональних видів транспорту для забезпечення транспортних зв'язків між зонами;
- прокладка раціональних трас маршрутів і оптимальне розміщення зупиночних пунктів;
- розрахунок потрібної кількості транспортних засобів для забезпечення заданих обсягів пасажирських перевезень;
- складання нарядів на випуск транспортних засобів і графіків руху;
- забезпечення контролю за рухом транспортних засобів на маршрутах і усунення порушень графіків руху;
- збір і аналіз статистичних даних про виконання планів перевезення пасажирів, розробка заходів щодо їхнього вдосконалювання.

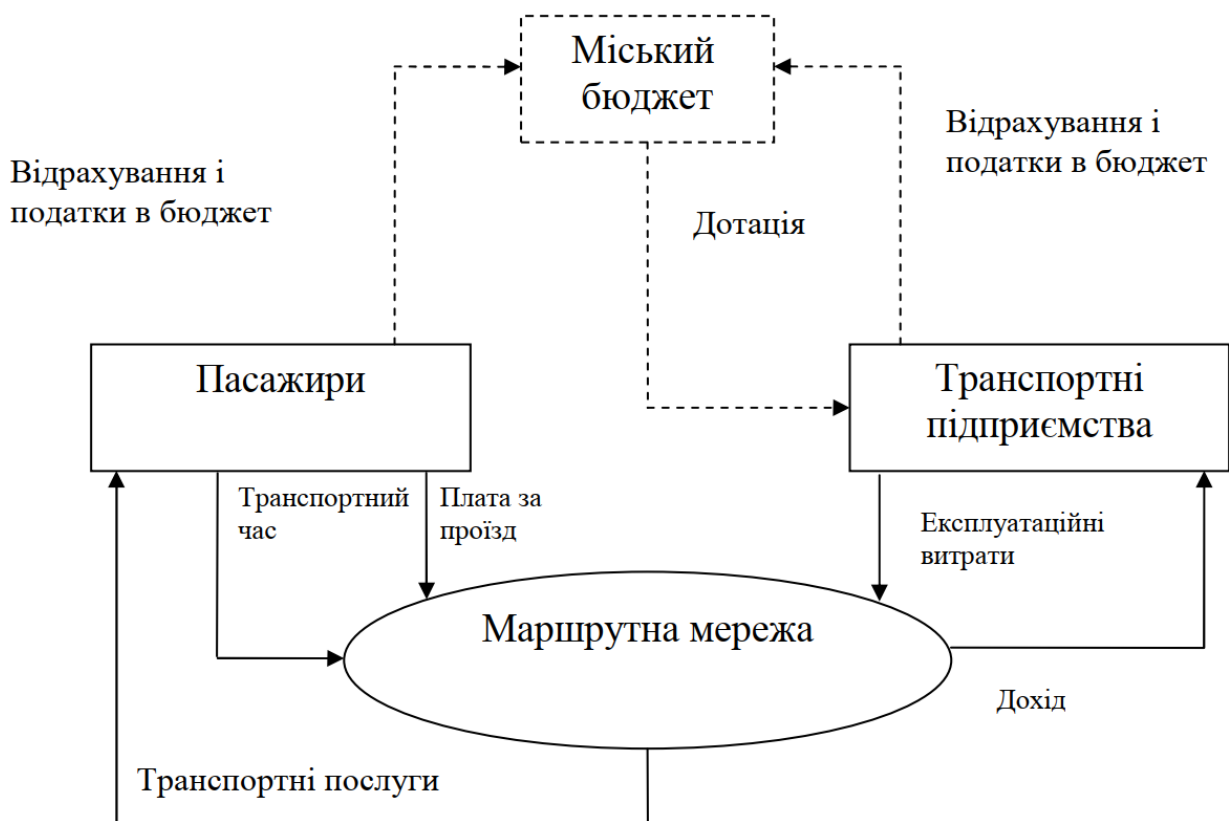


Рисунок 1.2 – Схема взаємодії учасників транспортного процесу

Робота міського пасажирського транспорту, який виконує масові перевезення, здійснюється відповідно до заздалегідь складених графіків руху. У результаті дії внутрішніх і зовнішніх збурень на транспортну систему, наприклад, недовипуск транспортних засобів, виникнення несправностей у шляховому й дорожньому господарстві, системі енергопостачання тощо, функціонування системи відхиляється від заданого режиму.

Для усунення збоїв у роботі транспорту і мінімізації їхніх наслідків використовують методи диспетчерського управління, спрямовані на точне виконання розкладів руху. Залежно від ступеня впливу розрізняють збурення локальні й глобальні. До локальних збурень відносять відхилення від графіків руху окремих транспортних засобів, короточасні затримки руху на вуличній дорожній мережі через затори, дорожньо-транспортні пригоди. Вони не змінюють основні параметри функціонування транспортної системи і їх можна компенсувати тими засобами, які в цей момент часу перебувають на маршрутах.

До глобальних відносять збурення, які змінюють на тривалий період один або кілька параметрів транспортної системи, наприклад, недовипуск транспортних засобів із транспортних підприємств, схід з лінії через технічну несправність одного або декількох транспортних засобів, різка зміна погодних умов, закриття для руху окремих ділянок вуличної дорожньої мережі. Такі збурення призводять до необхідності зміни режимів руху, залучення додаткових засобів до тих, що є на маршрутній системі.

Слід зазначити, що глобальні збурення не є більш суттєвими, ніж локальні, тому що вони становлять лише незначну частину в загальній кількості збурень. Основною причиною зниження рівня транспортного обслуговування населення є саме локальні збурювання у зв'язку з високою частотою їхнього прояву.

Поставлена цільова функція транспортної системи - враховувати інтереси як пасажирів, так і транспортних підприємств. Задоволення інтересів пасажирів вимагає перед усім виконання перевезень та забезпечення певної якості

транспортних послуг. У свою чергу, задоволення інтересів перевізників потребує встановлення економічно обґрунтованого тарифу і запровадження ефективного способу збирання з пасажирів плати за проїзд і виконання перевезень з найменшою собівартістю.

Подібним чином можна провести подальшу декомпозицію процесу досягнення кінцевої мети до рівня елементарних задач, тобто побудувати дерево цілей системи управління. Дерево цілей системи управління наведено на рисунку 1.3.

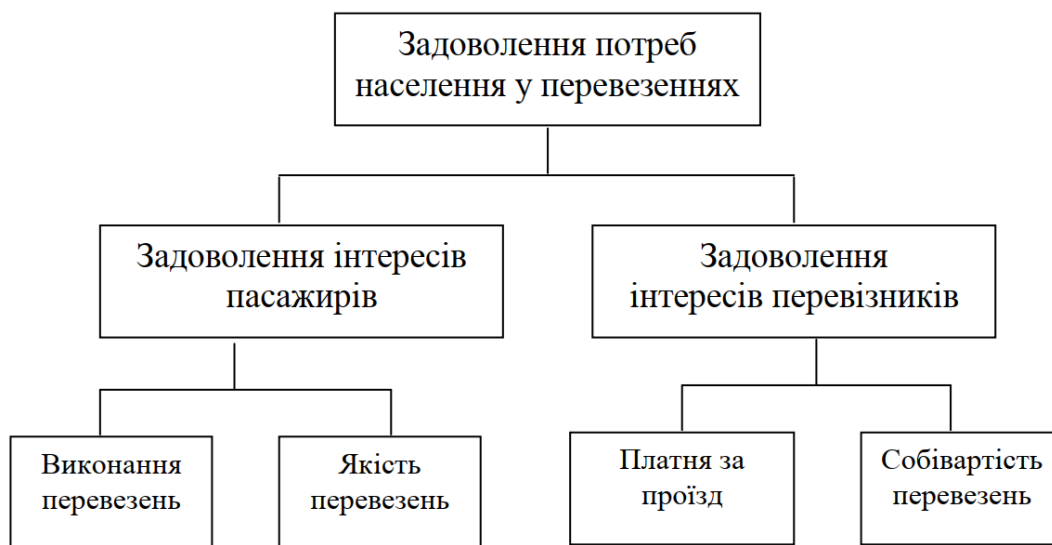


Рисунок 1.3 – Дерево цілей системи управління пасажирськими перевезеннями

Конкретний вид цільової функції залежить від способу формування її складових і може бути різним для різних видів транспорту, транспортних підприємств різної форми власності та інших особливостей їхнього функціонування.

Відповідно до встановленої цільової функції та обраних цілей функціонування системі на транспорті доцільно розробити інтелектуальну вимірювальну інформаційну систему, яка буде в автоматичному режимі проводити необхідні вимірювання та здійснювати прийняття рішень з урахуванням наявних глобальних та локальних збурень.

Під час застосування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем залежно від конкретних умов функціонування транспортної системи міста, технічного рівня розробники можуть вирішувати питання щодо зміни ієрархії системи управління, наприклад, шляхом об'єднання деяких рівнів управління з перерозподілом обов'язків між рівнями, що залишилися.

У разі застосування інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи можна реалізувати такі функції:

- автоматизований контроль руху з автоматизацією отримання й обробки даних;
- регулювання руху;
- застосування оперативної інформації про технічну готовність транспорту в реальному масштабі часу;
- планування застосування транспорту;
- координація управління різними видами транспорту.

В якості іншого прикладу застосування інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи на транспорті є вирішення завдань, пов'язаних з логістикою транспортних перевезень [9]. Сучасна транспортна логістика включає в себе низку елементів, основними з яких є: вантаж; пункти зосередження вантажу; транспортна мережа; рухомий склад; навантажувально-розвантажувальні засоби; учасники логістичних процесів; тара та пакування.

Основним завданням застосування такої системи є врахування наявних резервів для вдосконалення транспортного логістичного процесу, в якому раціонально взаємодіють учасники ланцюга доставки, у погодженні їх інтересів та пошуку взаємовигідних та придатних рішень.

Також важливим є запропонувати такий маршрут доставки, який буде найбільш економічно вигідним для компанії, з урахуванням усіх умов та параметрів перевезення, та максимально вигідним і для клієнта з позиції часу та вартості доставки, збереження вантажу та надійності логістичного оператора в майбутньому.



Якщо продукція має бути доставлена клієнту у зазначений контрактом термін, що б не трапалося, відділ логістики повинен знайти найшвидший, але можливо не найвигідніший варіант доставки продукції клієнту. До функції системи входить змінення цієї ситуації через знаходження оптимального варіанту, щоб доставка були виконана відповідно до контракту. Тому під час розроблення до програмного забезпечення закладаються всі встановлені критерії та параметри вибору оптимальних умов доставки, в тому числі, у режимі форс-мажору.

Для транспортного логістичного процесу найчастіше цільова функція полягає у вирішенні двох транспортних задач:

- мінімізувати час виконання заданих обсягів робіт, оскільки у певних життєвих ситуаціях, таких як практичне планування перевезень, необхідно звести до мінімуму загальний час перевезень. Це важливо під час виконання сільськогосподарських робіт, перевезенні сировини та продукції, яка швидко псується тощо;

- мінімізувати транспортні витрати на перевезення.

Наявні транспортні задачі можуть значно ускладнюватися у виробничо-транспортних економічних системах, які виробляють сировину і продукцію в широкому асортименті на декількох незалежних підприємствах, а для перевезення їх використовуються різні види транспорту. На практиці перевезення можуть здійснюватися як безпосередньо від постачальників до споживачів, так і через декілька проміжних пунктів, створюючи складні транспортні комунікації.

Таким чином, застосування інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи на транспорті є необхідним інструментом для підприємств, що надають послуги транспортної логістики, в тому числі, магістральні перевезення, адресну доставку, перевезення небезпечних вантажів або вантажів з особливими температурними режимами перевезення, або для компаній, що доставляють товари та вантажі своїм клієнтам самостійно, як виробники або дистриб'ютори.

Важливо розробити таку інтелектуальну вимірювальну інформаційну систему для вирішування поставлених завдань щодо застосування транспорту, щоб можливим було врахувати значну кількість параметрів і обмежень, щоб поставлені завдання були виконані своєчасно та оптимальним чином.

## 2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

### 2.1 Аналізування переваг застосування методів нечіткої логіки у системах на транспорті

Сучасний рівень розвитку транспорту потребує комплексного підходу до розробки інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах на транспорті. Це зумовлено, з одного боку, необхідністю підвищення якості управління при мінімальних витратах на створення та експлуатацію систем, з іншого боку – ускладненням структури об'єкта управління, функцій, які він виконує, і, як наслідок, збільшенням факторів невизначеності, які необхідно враховувати для управління об'єктом.

Теоретично для автоматичного управління є досить багато методів, які дозволяють оптимізувати роботу систем за тими чи іншим критеріям якості і під час низки обмежень.

Математичний апарат, що використовується у традиційних методах автоматичного управління, не завжди повною мірою може задовольнити потреби сучасного розвитку транспорту. Тому останнім часом знаходять широке поширення так звані “м'які обчислення”, основний принцип яких полягає у забезпеченні прийнятної (не обов'язково оптимальної) якості управління в умовах невизначеності при відносно невисокому рівні ресурсів, що витрачаються (вартісних, тимчасових, обчислювальних тощо). До м'яких обчислень нині відносять такі інформаційні технології, як експертні системи, нейронні мережі, нечіткі системи, генетичні алгоритми та інших. В їх основі лежить спроба деякої формалізації діяльності головного мозку людини та функціонування живих організмів.

Взагалі, досить часто оптимальне вирішення практичної задачі важко знайти, використовуючи класичні методи математики. Причини цього полягають у наступному. По-перше, не завжди можливо зробити прийнятний з

точки зору точності та компактності аналітичний опис розв'язуваної задачі. У багатьох випадках витрати на його розробку перевищать ефект від рішення, а крім того, час, необхідний для отримання аналітичного опису, як правило, є неприйнятним. Але чи завжди такий опис потрібен, адже людина здатна знаходити оптимальні рішення, користуючись лише абстрактними відомостями та суб'єктивними уявленнями про завдання? По-друге, в житті нам постійно доводиться оперувати неточними значеннями і не зовсім зрозумілими поняттями, проте традиційні методи математики не допускають таких "вільностей". Усвідомлення цих проблем призвело до розуміння доцільності використання методів нечіткої логіки, що претендує на усунення протиріч між математикою та реальним світом.

Ці методи дозволяють застосовувати цілий клас описів, що оперують якісними характеристиками об'єктів (багато, мало, сильний, дуже сильний тощо). Ці характеристики зазвичай розмиті, проте містять важливу інформацію. Діапазон застосування нечіткої логіки дуже широкий і ґрунтується на використанні таких висловів, як «гаряче», «холодно», «близько», «далеко».

Порівняємо нечітку логіку з класичною логікою:

#### 1) Визначення

Класична логіка заснована на принципі виключення третього, згідно з яким висловлювання може бути істинним, або хибним. Нечітка логіка, з іншого боку, дозволяє висловлювати невизначеність та нечіткість у висловлюваннях.

#### 2) Подання знань

У класичній логіці знання видаються у вигляді точних та чітких правил та фактів. Нечітка логіка дозволяє представляти знання за допомогою нечітких множин та нечітких правил, які можуть враховувати невизначеність та розмитість.

#### 3) Операції

У класичній логіці операції виконуються над точними значеннями та дають точні результати. У нечіткій логіці операції виконуються над нечіткими

множинами і можуть давати нечіткі результати, які становлять ступінь приналежності до різних категорій.

#### 4) Дозвіл невизначеності

Класична логіка не надає механізмів для вирішення невизначеності та нечіткості. Нечітка логіка, навпаки, дозволяє враховувати невизначеність і розмитість даних і приймати рішення з урахуванням ступеня приналежності до різних категорій.

#### 5) Застосування

Класична логіка широко застосовується в математиці, філософії та інформатиці для формалізації та аналізу раціональних та точних висловлювань. Нечітка логіка знаходить застосування в областях, де дані нечіткі чи невизначені, таких як управління системами, штучний інтелект, експертні системи тощо.

В цілому, нечітка логіка та класична логіка мають різні підходи до подання та обробки знань. Нечітка логіка дозволяє враховувати невизначеність та розмитість, що робить її корисною у ситуаціях, де дані нечіткі чи невизначені. Класична логіка, з іншого боку, підходить для формалізації точних та раціональних висловлювань. Вибір між ними залежить від конкретного завдання та контексту застосування. Порівняльна таблиця нечіткої логіки та класичної логіки наведено в таблиці 2.1.

Таким чином, класична логіка має важливий недолік, адже оперує лише двома поняттями «істина» та «обман», тому за допомогою класичної логіки описати асоціативне мислення людини неможливо. Нечітка логіка допомагає вирішити цю проблему.

Можна виділити три основні напрямки застосування нечіткої логіки:

- управління роботою віртуальних підприємств;
- управління технологічними процесами у часі;
- створення програм для автоматизованого керування системи управління.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця нечіткої логіки та класичної логіки

Аспект	Нечітка логіка	Класична логіка
Визначення	Логіка, яка дозволяє працювати з нечіткими чи невизначеними поняттями та значеннями	Логіка, заснована на принципі виключення третьої та двійкової системи обчислення.
Принципи	Робота з нечіткими множинами, нечіткими правилами виведення та нечіткими операціями.	Використання істинності та хибності висловлювань, законів обчислення та правил виведення.
Основні елементи	Невизначені значення, функції приналежності, операції над нечіткими множинами.	Істинні значення, висловлювання, операції логічного складання та множення.
Приклади застосування	Управління системами, прогнозування, прийняття рішень в умовах невизначеності	Математика, філософія, інформатика, штучний інтелект.
Переваги	Облік невизначеності, гнучкість у роботі з нечіткими даними, можливість моделювання складних систем.	Простота та ясність, точність у роботі з чіткими даними, широке застосування в науці та техніці.
Недоліки	Складність інтерпретації результатів, вимога більшого обсягу обчислювальних ресурсів	Нездатність врахувати невизначеність, обмеженість у роботі з нечіткими даними.

Система управління розглядається як сукупність фізичних компонентів, призначених для зміни іншої фізичної системи з метою надання їй певних бажаних характеристик. Нижче наведено деякі причини використання нечіткої логіки у системах управління:

- при застосуванні традиційного контролю необхідно знати модель та цільову функцію, сформульовані у точних правилах. Це робить його дуже складним для застосування у багатьох випадках;

- застосовуючи нечітку логіку управління, ми можемо використовувати людський досвід і досвід розробки контролера;

- нечіткі правила керування, в основному правила ЯКЩО-ТО, найкраще використовувати при розробці контролера.

На практиці системи, які реалізовані як інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи, також отримали велике визнання як системи підтримки прийняття рішень. У таких системах одним із основних методів представлення знань є продукційні правила, які дозволяють наблизитися до стилю мислення людини. Правило складається з посилок та висновків. В одному правилі може бути кілька посилок, у таких випадках вони об'єднуються логічними зв'язками. Запис продукційного правила: ЯКЩО (умова) (зв'язка) (умова) ... (умова), ТО (дія\_1, ..., дія\_n).

Також в даний час у зв'язку з розвитком обчислювальних здібностей технічних пристроїв, відновилися дослідження в області нечіткої логіки стосовно управління технічними об'єктами. Технології, що використовують нечітку логіку, у своїй основі широко застосовні в управлінні технічними системами для:

- автоматичного керування воротами греблі на гідроелектростанціях (Tokio Electric Pow);
- наведення телекамер під час трансляції спортивних подій (Omron);
- ефективного та стабільного керування автомобільними двигунами (Nissan), керування економічною швидкістю автомобілів (Nissan, Subaru);
- поліпшення ефективності та оптимізації промислових систем управління (Aptronix, Omron, Meiden, Sha, Micom, Mitsubishi, Nisshin-Denki, Oku-Electronics), позиціонування приводів у виробництво напівпровідників wafer-steppers (Canon);
- автоматичного керування двигуном пирососів з автоматичним визначенням типу поверхні та ступеня засміченості (Matsushita);
- одно кнопочного керування пральними машинами (Matsushita, Hitachi);
- оптимізації споживання бензину в автомобілях (NOK, Nippon Denki Tools);

- підвищення чутливості та ефективності управління ліфтами (Fujites, Hitachi, Toshiba);
- оптимізованого планування автобусних розкладів (Toshiba, Nippon-System, Keihan-Express);
- системи архівації документів (Mitsubishi Elec.);
- системи прогнозування землетрусів (Inst. Of Seismology Bureau of Metrology, Japan);
- діагностики раку (Kawasaki Medical School);
- розпізнавання рукописних символів у кишенькових комп'ютерах (записних книжках) (Sony);
- розпізнавання руху зображення у відеокамерах (Canon, Minolta).

Також, застосування нечіткої логіки відносно конкретного технологічного завдання дозволяє полегшити вирішення проблем через можливість виникнення нестандартної виробничої ситуації через, наприклад, несправність обладнання. Це забезпечується тим, що нечітка логіка та теорія нечітких множин є розділом математики, який об'єднує теорію множин з класичною логікою.

Таким чином, можна визначити деякі переваги та недоліки застосування систем з нечіткою логікою на транспорті.

Можна відмітити такі переваги:

1. Облік нечіткості та невизначеності: Нечітка логіка дозволяє врахувати нечіткість і невизначеність у даних та знаннях, що дозволяє більш точно моделювати реальні ситуації. На відміну від класичної логіки, яка працює тільки з бінарними значеннями (істина / неістина), нечітка логіка дозволяє працювати з різними ступенями істинності.

2. Гнучкість та адаптивність: Системи з нечіткою логікою можуть бути гнучко налаштовані та адаптовані до різних умов та вимог. Вони можуть враховувати різні фактори та варіації в даних, що робить їх більш ефективними у реальних ситуаціях.



3. Інтуїтивність і легкість розуміння: Нечітка логіка ґрунтується на принципі лінгвістичного опису, що робить її більш зрозумілою та інтуїтивною для людей. Вона дозволяє використовувати природну мову та логіку, що спрощує взаємодію з системою та розуміння її висновків.

4. Ефективність в обробці нечіткої інформації: Системи з нечіткою логікою можуть ефективно обробляти нечітку інформацію та приймати рішення на основі нечітких правил. Вони можуть враховувати невизначеність і нечіткість даних, що дозволяє отримувати більш точні та адекватні результати.

Можна відмітити такі недоліки:

1. Складність побудови моделей: Побудова моделей з використанням нечіткої логіки може бути складною і вимагати певних навичок та експертизи. Необхідно визначити нечіткі змінні, функції приналежності та правила виведення, що може бути нетривіальним завданням.

2. Необхідність більшого обсягу даних: Для ефективної роботи системи з нечіткою логікою потрібен більший обсяг даних для визначення функцій належності та правил виведення. Це може бути проблемою у випадках, коли даних недостатньо або неоднорідні.

3. Відсутність формальної математичної основи: На відміну від класичної логіки, нечітка логіка не має суворої формальної математичної основи. Це може ускладнити аналіз та доказ властивостей систем з нечіткою логікою.

4. Складність інтерпретації результатів: Інтерпретація результатів системи з нечіткою логікою може бути складною через нечіткість та невизначеність. Висновки можуть бути неоднозначними або важко інтерпретованими, що може ускладнити прийняття рішень.

В цілому, нечітка логіка має свої переваги та недоліки і її застосування залежить від конкретного завдання та контексту. Вона може бути ефективним інструментом для моделювання та аналізу нечіткої інформації, але потребує ретельного підходу та експертного знання для досягнення оптимальних результатів.

Таким чином, у сучасних інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах на транспорті зручно застосовувати методи нечіткої логіки та нечіткого керування. Їх застосування дозволяє вирішити проблему раціонального вибору рішення шляху досягнення поставленої мети, особливо коли задача може мати декілька рішень щодо ситуацій, які вимагають складання певного правила без виключень, а таке правило достатньо складно реалізувати.

## 2.2 Застосування методів нечіткої логіки у системах на практиці

У разі застосування методів нечіткої логіки у ході робіт із створення інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи доцільно використати таку технологію їхньої розробки, що включає шість наступних етапів: ідентифікацію, концептуалізацію, формалізацію, виконання, тестування та дослідну експлуатацію.

На етапі ідентифікації визначаються завдання, що підлягають вирішенню, виявляються цілі розробки, визначаються експерти та типи користувачів.

На етапі концептуалізації проводиться змістовний аналіз проблемної галузі, виявляються поняття та їх взаємозв'язки, що використовуються, визначаються можливості та доцільність застосування методів нечіткої логіки під час вирішення завдань.

На етапі формалізації вибираються необхідні вимірювальні канали та визначаються способи подання всіх видів даних, формалізуються основні поняття, визначаються способи інтерпретації даних, моделюється робота системи, оцінюється адекватність цілям системи зафіксованих понять, методів вибору рішень, засобів отримання та індикації даних.

На етапі виконання здійснюється наповнення експертом бази прийняття рішень. Цей етап є найважливішим і найбільш трудомістким етапом розробки системи. Процес придбання знань поділяють на отримання знань з експерта, організацію знань, що забезпечує ефективну роботу системи, та подання знань

у вигляді, зрозумілому системі. Процес наповнення бази прийняття рішень здійснюється розробником системи на основі аналізу діяльності експерта з вирішення реальних завдань.

Далі виконуються етапи тестування та дослідної експлуатації розробленої системи.

Під час виконання цих етапів застосовуються такі поняття нечіткої логіки, як нечіткий висновок, нечіткі правила, лінгвістична змінна і нечітке управління.

Лінгвістичної змінної можна пов'язати будь-яку величину, якщо для неї є більше значень, ніж просто «так» чи «ні». Визначається необхідне число термів і кожному ставиться значення фізичної величини, що описується. Для такого значення ступінь належності величини до терму дорівнюватиме 1, а для інших залежатиме від обраної функції належності. Для опису поставлених перед системою завдань використовується спеціальна мова для опису термів, лінгвістичних змінних та нечітких правил Fuzzy Control Language (FCL).

Нечіткі системи засновані на правилах продукційного типу, але як посилки та висновки використовуються лінгвістичні змінні. Це дозволяє уникнути обмежень, властивих продукційним правилам. Цільова установка процесу управління зв'язується з вихідною змінною нечіткою системою управління. Результат є нечітким, тому фізичний виконавчий пристрій не здатний прочитати таку команду. Для вирішення проблеми застосовуються спеціальні математичні методи, які дозволять переходити від нечітких значень до певних. Процес нечіткого управління можна розділити на кроки: фазифікація, виконання нечітких правил та дефазифікація, які відображені на рисунку 2.1.

Під час фазифікація значення вхідних змінних перетворюються на лінгвістичні змінні за допомогою застосування певних функцій. Приналежність кожного значення до лінгвістичної змінної можна визначити функцією приналежності, яка може мати довільний вигляд. Але існують стандартні функції, до яких можна віднести S-функцію, Z-функцію, трикутну та

трапецієподібну функції. Такі функції можуть застосовуватися для вирішення багатьох типових завдань. У складніших завданнях вже може знадобитися створення спеціальних функцій приналежності, наприклад, одинична чи полігональна.

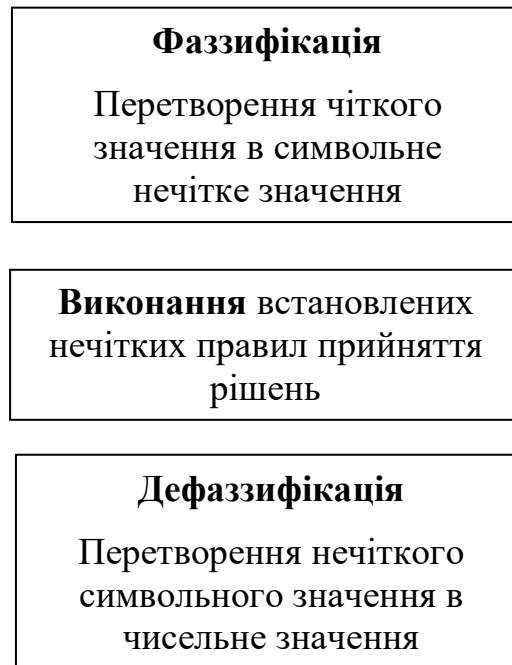


Рисунок 2.1 – Процес нечіткого управління

Під час використання нечіткої логіки щодо управління будь-яким процесом побудова нечітких систем полягає в імітації дії людини-оператора за допомогою програмного забезпечення комп'ютера. Людині властиво оперувати не тільки кількісними показниками, а й якісними. Але слід враховувати, що ці якісні поняття носять, найчастіше, нечіткий характер. При цьому використовуються лінгвістичні змінні, що описують вхідну ситуацію та керуючі впливи на якісному рівні (наприклад, «Температура» – «Середня»).

Такі лінгвістичні змінні задаються на деякій кількісній шкалі, за допомогою якої визначаються ступені відповідності отриманої інформації даним поняттям. Для цього використовуються функції приналежності, що набирають значення від 0 до 1.

Можливі значення лінгвістичних змінних називаються термами (наприклад, для лінгвістичної змінної – «Рівень масла» термами є «менше норми», «норма», «більш норми»). Крім того, задається набір правил, що ставлять у відповідність вхідної ситуації певний вплив, що управляє. Ці правила зазвичай мають вигляд «Якщо ..., то...» та формуються за допомогою експерта чи групи експертів. Однак, у багатьох випадках експертам не вдається прийняти однозначне рішення про необхідний вплив на об'єкт у ситуації, що склалася. Наприклад, якщо неузгодженість між уставкою і виходом об'єкта негативна, але похідна позитивна, навіть досвідченому фахівцю буває важко відповісти, яким має бути керуючий вплив. Тому є доцільним кожному правилу прийняття рішень «Якщо ..., то...» поставити у відповідність деяку величину з інтервалу від 0 до 1, що відображає ступінь впевненості в діях, що вживаються. Таким чином, формується нечітка відповідність між простором передумов та простором висновків.

Після описаних процедур фазифікації відбувається виконання встановлених нечітких правил прийняття рішень. Для чого набуває чинності механізм нечіткого логічного висновку, у ході якого здійснюється композиція нечіткої множини. Композицію можна надати як аналог множення вектор-рядка на матрицю, тільки замість операції множення використовується розширене уявлення логічної операції І та АБО.

Останнім етапом алгоритму нечіткого управління є дефазифікація (від англ. слова «Fuzzy» – «нечіткий») – процес перекладу нечітких даних у конкретні фізичні управляючі величини, які поступають на канали керування системи.

Графік нечіткої відповідності може бути представлений у вигляді функції або матриці. Так, наприклад, якщо вхідна змінна  $X$  і вихідна змінна  $Y$  мають однакові терм-множини  $T_x = T_y = \{\text{«Негативно»}, \text{«Близько нуля»}, \text{«Позитивно»}\}$ , то система правил нечіткого висновку має такий вигляд:

- якщо  $X$  "Негативно", то  $Y$  - "Негативно" зі ступенем впевненості 0,9,  
"Близько нуля" - зі ступенем впевненості 0,3;

- якщо  $X$  «Близько нуля», то  $Y$  «Негативно» зі ступенем впевненості 0,3, «Близько нуля» зі ступенем впевненості 0,8, «Позитивно» зі ступенем впевненості 0,3;

- якщо  $X$  "Позитивно", то  $Y$  "Близько нуля" зі ступенем впевненості 0,3, "Позитивно" зі ступенем впевненості 0,9.

Фактично механізм нечіткого логічного висновку є деяким нелінійним перетворенням. Результатом нечіткого висновку є чітке значення змінної  $y$  на основі заданих чітких значень  $x_k$ ,  $k = 1, \dots, n$ . Наприклад, у випадку, де необхідний моніторинг ділянок, схильних до появи випадкових ситуацій, вихідне значення  $y$  може показувати ймовірність цього появи цієї ситуації за конкретними значеннями впливних факторів. Таким чином, системи такого типу дозволяють не тільки робити висновки, ґрунтуючись на статичних чітко виражених даних, але й оперувати значеннями, що безперервно змінюються в часі, які неможливо задати однозначно.

В даний час застосування елементів нечіткої логіки можна знайти в десятках промислових виробів – від систем керування електропоїздами та бойовими вертольотами до пирососів та пральних машин. Без застосування систем з використанням нечіткої логіки немислимі сучасні системи ситуаційного управління. Точна логіка з великим успіхом застосовується в різних додатках управління. Майже всі споживчі товари мають нечітке керування. Застосування методів нечіткої логіки можуть включати приклади від регулювання температури у приміщеннях за допомогою кондиціонера до управління великими різноманітними системами. Це робить можливим використання нечітких алгоритмів в інтелектуальних системах для управління об'єктами автомобільного транспорту.

## 3 ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ ТА АЛГОРИТМУ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ НА ПІДСТАВІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

### 3.1 Визначення загальних вимог до складу систем із застосування методів нечіткої логіки

Управління різними об'єктами на основі нечіткої логіки використовує пропозиції у формі правил для управління тим чи іншим процесом. При цьому управління на основі нечіткої логіки може мати необмежену кількість вхідних сигналів і будується на основі знань «експерта», а також, на відміну від традиційних систем управління, може функціонувати без використання специфічних знань про об'єкт управління.

Діагностика та моніторинг реального технічного стану транспортної інфраструктури (мостів, тунелів, доріг, земляного полотна, насипів та ін.) та самих автомобілів, управління логістичними системами перевезення вантажів та пасажирів – є одними з найбільш актуальних завдань у нашій країні та одними із найважливіших напрямів розроблення та впровадження інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем.

Проведення періодичних наземних обстежень, інспекцій, оглядів, вибіркового перевірок не може забезпечити оперативне отримання достовірних і достатніх даних про реальний технічний стан таких просторово протяжних унікальних споруд і конструкцій, якими є об'єкти автомобільного транспорту. Для повноцінного контролю над такими об'єктами необхідно використовувати систему, яка б могла спрогнозувати подальшу зміну стану ситуації або конструкції під впливом зовнішніх впливів.

Така система у будь-якому разі складається з автономних вузлів, які виконують конкретні функції, а зібрані дані розміщуються на сервері зберігання інформації. Вузли можуть бути оснащені різними датчиками в залежності від об'єкта, на якому вони встановлені. Це може бути: датчики

вібрації, датчики потоку газу, датчики температури, освітленості, вологості тощо.

Для обробки та подальшого висновку про сформовану ситуацію на об'єкті використовуються знання експерта. Як правило, ці завдання вирішуються експертом на основі аналізу всієї доступної інформації. Рішення, прийняті у певній ситуації, найчастіше, носять інтуїтивний та суб'єктивний характер. З іншого боку, експерт вже під час співбесіди здатний сформулювати ті інтуїтивні правила та алгоритми, які він використовує під час прийняття рішень.

Зазвичай проблема полягає в тому, що ці правила та алгоритми володітимуть великим ступенем розмитості та нечіткості, а знання, отримані від різних експертів, будуть часто суперечливі. Саме завдання управління таких знаннями, отриманими від фахівців, покликані вирішувати такі експертні системи. Тому більшої актуальності набуває використання експертних інтелектуальних систем на вирішення об'ємних, важко формалізованих завдань у різних предметних областях, які реалізуються застосуванням методів нечіткої логіки в програмно-технічних комплексах.

Завдання, що реалізуються в таких системах, характеризуються, зазвичай, відсутністю чи складністю формальних алгоритмів рішення, неповнотою і нечіткістю вихідної інформації, нечіткістю досягнутих цілей. Ці особливості призводять до необхідності використання в процесі вирішення даних завдань знань, отриманих від людини-експерта в предметній галузі, та розробки інтелектуальних систем, що здійснюють збір та управління цими знаннями, що приймають рішення про оптимальний спосіб досягнення цілей в умовах неповноти та нечіткості. Для їх формалізації в цей час успішно застосовується апарат теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Нечіткі поняття у такому разі формалізуються як нечіткі та лінгвістичні змінні, а нечіткість дій у процесі прийняття рішення – як ряд нечітких алгоритмів. Інтелектуальні системи, здатні формалізувати таку нечітку інформацію та обробляти її в рамках нечітких алгоритмів, отримали назву нечітких інтелектуальних систем. Особливо актуально використовувати нині нечіткі експертні системи на



вирішення завдань моделювання у сфері попередження небезпечних ситуацій, у тому числі і на транспорті.

Основною характерною рисою завдань, розв'язуваних інтелектуальними системами з використанням методів нечіткої логіки, є невизначеність, нечіткість і неповнота знань, наприклад, у тому, де та у який проміжок часу відбудеться аварійна ситуація. Загалом, об'єкт, що спостерігається, являє собою складну систему, що характеризується безліччю взаємопов'язаних і взаємно впливаючих один на одного властивостей. Врахувати всі ці взаємозв'язки у певній жорсткій математичній моделі неможливо. Наприклад, на оцінку стану тунелю на автомобільній дорозі впливають безліч чинників: мінімальні зміщення породи, зміна власної частоти конструкції, температура довкілля тощо. Тому інтелектуальна система для реалізації всі цих властивостей включає два модулі - модуль накопичення та управління знаннями експертів і модуль нечіткого висновку.

Основна вимога до модуля накопичення та управління знаннями експертів – можливість його легкого практичного використання фахівцем, не знайомим із мовами програмування. У той же час, даний модуль повинен забезпечити можливість якісного формування бази знань відповідно до потреб вирішуваного завдання.

Для роботи модуля нечіткого виведення необхідно розробити систему метричних оцінок стану об'єкту. Спочатку вибираються метрики станів, які пропонується використовувати під час оцінки стану цього об'єкта. Кожній метриці ставиться у відповідність лінгвістична змінна. Наприклад, при моніторингу ділянок, що піддаються селевим сходам, як вхідна лінгвістична змінна можна прийняти «Вологість ґрунту». Для кожної лінгвістичної змінної визначається базова терм множина, яка складатиметься з нечітких змінних: «Невисока», «Середня», «Висока». Потім для кожного терму знаходиться числове значення або діапазон значень, які найкраще характеризують даний терм. Також як вихідний результат визначається "Можливість сходу" з термами: "Мінімальна", "Середня", "Висока".

Таким чином, основою для проведення операції нечіткого логічного висновку є база правил, що містить нечіткі висловлювання у формі "Якщо" та функції приналежності для відповідних лінгвістичних термів. При цьому необхідно дотримуватися наступних умов:

- існує хоча б одне правило для лінгвістичної терми вихідної змінної;
- для будь-якого терму вхідної змінної є хоча б одне правило, в якому цей терм використовується як передумова. Якщо позначити терми «Вологість ґрунту» як  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  відповідно, додати «Зсув породи» з термами  $B_1$  – «Мінімальний»,  $B_2$  – «Середній»,  $B_3$  – «Критичний», а вихідні функції позначити як  $C_1$ ,  $C_2$  і  $C_3$ , то для них можна встановити певні правила.

При введенні таких правил повинна проводитися перевірка повноти, тобто, необхідно описувати всі можливі ситуації, які можна передбачити за допомогою даних вхідних змінних. Також слід брати до уваги перевірку на несуперечність – одне з правил не може впливати на виконання будь-якого іншого правила.

Механізм логічного висновку включає чотири етапи:

- введення нечіткості (фазифікація);
- нечіткий висновок;
- композиція;
- приведення до чіткості або дефазифікації.

При застосуванні традиційного контролю необхідно знати модель та цільову функцію, сформульовані у точних термінах. Це робить його дуже складним для застосування у багатьох випадках.

Застосовуючи нечітку логіку управління, можливо використовувати людський досвід і досвід розробки контролера.

Нечіткі правила управління, переважно правила ЯКЩО, ТО, найкраще використовувати під час розробки контролера.

Під час розробки нечіткої системи управління слід зробити такі шість основних припущень:

- об'єкт є спостережуваним та керованим – необхідно припустити, що вхідні, вихідні та змінні стани доступні для цілей спостереження та контролю.
- існування бази знань. Слід припустити, що існує база знань, що має лінгвістичні правила та набір даних введення-виводу, за якими можна визначити правила.
- існування рішення. Потрібно припустити, що рішення існує.
- «достатньо гарно» рішення достатньо – техніка, що управляє, повинна шукати «досить гарне» рішення, а не оптимальне.
- діапазон точності – контролер нечіткої логіки має бути сконструйований у допустимому діапазоні точності.
- питання стабільності та оптимальності. Питання стабільності та оптимальності повинні бути відкриті при розробці логічного контролера Fuzzy, а не вирішуватись у явному вигляді.

### 3.2 Розроблення алгоритму функціонування системи на підставі застосування методів нечіткої логіки

Основною функцією програмно-технічного комплексу є одержання даних про стан об'єкту та формування управляючих сигналів для зміни стану об'єкта. Для реалізації методів нечіткої логіки цей програмно-технічний комплекс включає регулятор з нечіткою логікою (Fuzzy - контролер), який виконує фазифікацію та дефазифікацію.

На рисунку 3.1 показана архітектура Fuzzy - контролера.

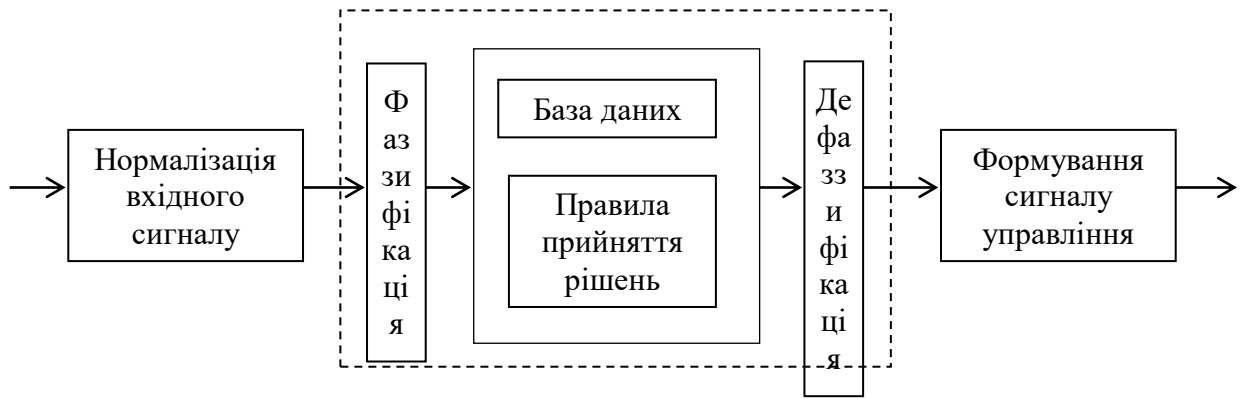


Рисунок 3.1 – Архітектура Fuzzy - контролера

Нижче наведено опис основних компонентів Fuzzy - контролера, які показані на рисунку 3.1:

- фаззифікатор – виконує перетворення чітких вхідних значень на нечіткі значення;

- база даних – зберігає знання про всі нечіткі відносини введення-виведення. Цей компонент також має функцію, яка визначає вхідні змінні для бази нечітких правил та вихідні змінні для контрольованого параметра;

- правила прийняття рішень – зберігає правила перетворення вхідної величини у вихідну величину;

- дефаззифікатор - перетворює нечіткі значення на чіткі значення сигналу керування.

Алгоритм функціонування Fuzzy - контролера можна уявити, як модель у вигляді «вхід-вихід» на рисунку 3.2 та описати під час програмування системою рівнянь, які будуть описувати перехід з простору фізичних змінних у нечіткі, який здійснюється за допомогою операції фаззифікація. Ця операція виконується на підставі визначеного типу завдання нечітких функцій приналежності, які можуть бути у вигляді трикутників, трапецій, дзвону тощо. Зворотній перехід до фізичних змінних виконується операцією дефаззифікації та проводиться математичними методами, наприклад, методами центру тяжіння, центру області, середнього максимуму тощо.

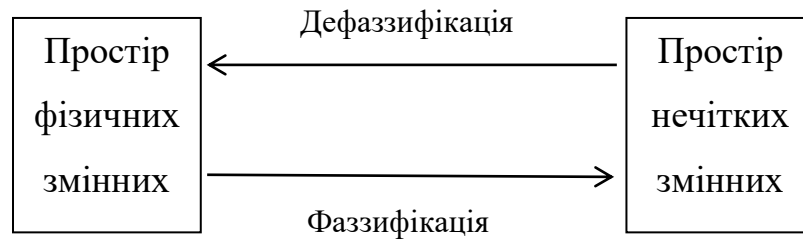


Рисунок 3.2 – Схема перетворення змінних у Fuzzy - контролері

Ступінь деталізації об'єкта залежить від кількості термів – розбиття на підмножини. Декомпозиція термів дуже важлива та впливає на продуктивність контролера у реальних пристроях управління. На рисунку 3.3 показана груба нечітка декомпозиція з 3 термами та трьома нечіткими підмножинами (рисунок 3.3, а) та більш детальна (рисунок 3.3, б) з сімома підмножинами.

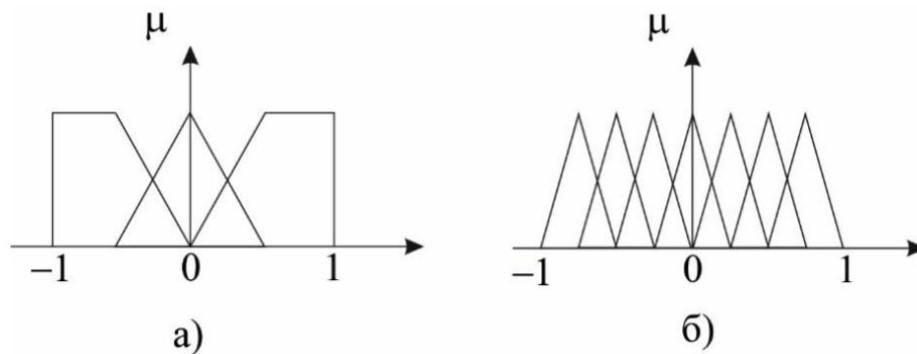


Рисунок 3.3 – Нечітка декомпозиція (груба та детальна)

- Таким чином, програмно - технічний комплекс виконує наступні функції:
- нормалізація вхідного сигналу для подальшої фазифікація;
  - функції Fuzzy – контролера;
  - формування сигналу управління.

Під час нормалізації вхідного сигналу відбувається попередня обробка чітких даних, отриманих від вимірювального обладнання (датчиків) для подальшого їхнього лінгвістичного опису. Прикладами нормалізації можуть бути:

- квантування за рівнем;

- нормалізація або масштабування у конкретному стандартному діапазоні;
- фільтрація для усунення шуму;
- усереднення сигналу;
- диференціація та інтеграція, або їх наближення у дискретному часі.

Під час формування сигналу управління відбувається масштабування вихідного дефазифікованого сигналу в конкретні чисельні значення сигналу управління. Прикладом такого масштабування може бути переведення з одиниць множини  $[-1, 1]$  у фізичні одиниці  $[-10, 10]$  вольт.

Структурна схема системи керування з таким програмно – технічним комплексом представлена на рисунку 3.4, де  $f_1$  – зовнішній сигнал шумових перешкод,  $f_2$  – перешкоди сигналу управління,  $u$  – сигнал керування,  $y$  – вихідний сигнал,  $g$  – вхідний сигнал, ВК та КК – вимірювальні канали та канали керування відповідно.

Таким чином, під час проектування таких Fuzzy – контролерів повинні бути проведені наступні етапи:

- ідентифікація даних, на якому визначаються вхідні, вихідні та змінні стани системи на транспорті;
- конфігурація нечіткого підмножини, на якому вся можлива інформація поділяється на певну кількість нечітких підмножин, і кожній підмножині надається лінгвістична мітка. Ці нечіткі підмножини повинні включати всі елементи можливих станів;
- встановлення функції приналежності для кожної нечіткої підмножини, які отримані на попередньому етапі;
- конфігурація бази правил прийняття рішень, як взаємозв'язків між нечітким входом та виходом.

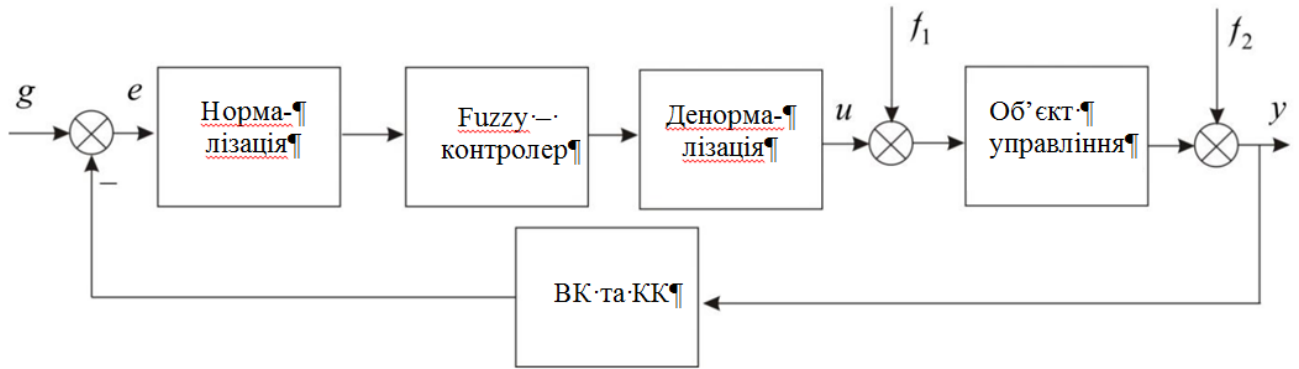


Рисунок 3.4 – Структурна схема системи керування з використанням Fuzzy - контролера

Розроблений для кожної інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи програмно-технічний комплекс повинен забезпечувати функціонування всієї системи в цілому та забезпечувати оптимальність прийнятих рішень. Загальна структура всієї системи наведена на рисунку 3.5.

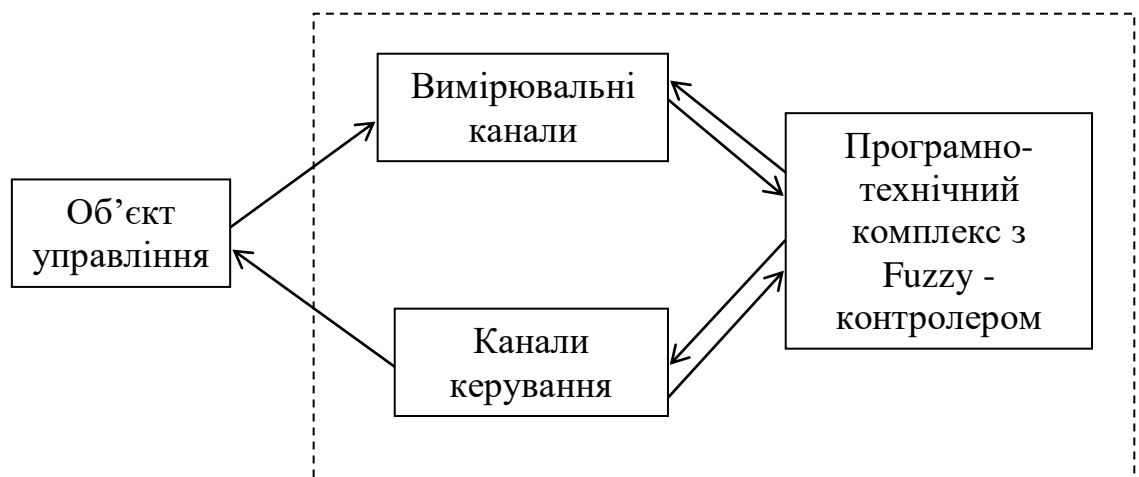


Рисунок 3.5 – Загальна структура інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи

Таким чином, інтелектуальна вимірювальна інформаційна система, побудована із застосуванням методів нечіткої логіки, функціонує на підставі:

- одержаних сигналів від датчиків вимірювальних каналів;
- подання цих значень вимірюваних величин на вхід програмно-технічного комплексу;

- оброблення цих вимірюваних величин Fuzzy - контролером;
- прийняття рішень щодо необхідного керування об'єктом та
- формування вхідного сигналу для каналу керування.

Тому важливим питанням для забезпечення функціонування такої системи є розгляд метрологічних вимог до всіх компонентів цієї системи, особливо до вимірювальних каналів.



## 4 ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ СИСТЕМ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬ МЕТОДИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

### 4.1 Визначення вимог до вимірювальних каналів систем

У разі застосування під час реалізації інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи методів нечіткої логіки завданням метрології є формування вимог до вимірювань величин, значення яких необхідно для управління цією системою. Тобто ніяка система, яка управляє об'єктом, не може функціонувати без вимірювальних каналів.

До таких вимірювальних каналів входять обов'язково відповідні датчики, які обираються в залежності від об'єкта, параметри якого контролюються. Ці вимірювальні канали надають необхідні дані для функціонування програмно-технічного комплексу на базі Fuzzy - контролера.

Відповідно до національного стандарту ДСТУ 2681 [10] вимірювальний канал – це сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, призначена для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану величину.

Декілька вимірювальних каналів, їх може бути будь-яка кількість (від 2 до 2000, а може і більше), формують вимірювальну інформаційну систему, яка є сукупністю вимірювальних пристроїв, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації.

Узагальнена структурна схема вимірювального каналу наведена на рисунку 4.1.

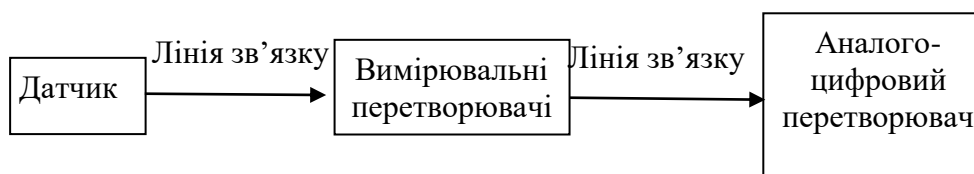


Рисунок 4.1 – Структурна схема вимірювального каналу.

Датчик як первинний вимірювальний перетворювач взаємодіє з вимірюваною величиною і формує вихідний сигнал, пропорційний цій величині.

По лінії зв'язку вихідний сигнал датчика передається до вимірювального перетворювача і є його вхідним сигналом, який перетворюється в уніфікований сигнал, а далі у сигнал, який є вхідним для програмно-технічного комплексу.

В сучасних вимірювальних інформаційних системах електричний сигнал є основним носієм вимірювальної інформації. Причому, у структурі вимірювальних каналів такої системи, на дільниці від первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків) і до аналого-цифрових перетворювачів, саме електричний сигнал забезпечує перенесення необхідної вимірювальної інформації, яка відображає значення вимірювальних параметрів.

У цьому випадку вимірювальний канал має структуру, яка показана на рисунку 4.1. Основною перевагою такого вимірювального каналу є ретельна відпрацьованість його технічного забезпечення та встановлення або контролювання його метрологічних характеристик. Передача вимірювальної інформації через зміну амплітуди напруги або струму є найбільш поширеною.

За лініями зв'язку інформацію можуть передавати не тільки через струм та напругу, а і через інші параметри електричних сигналів, такі як фаза і частота або зміна тривалості імпульсних сигналів спеціальної форми.

Після вимірювального перетворювача сигнал потрапляє до аналого-цифрового перетворювача, який формує вхідний сигнал програмно-технічному комплексу. В залежності від завдань, поставлених перед системою на транспорті та розташування об'єкту управління, вхідними сигналами програмно-технічного комплексу можуть бути сигнали, які передають інформацію різного виду.

Аналого-цифрове перетворення - це перетворення аналогової інформації, яка надана у вигляді уніфікованого електричного сигналу у цифровий код. Аналого-цифровий перетворювач здійснює автоматичне перетворення безперервно змінюваних в часі аналогових значень в еквівалентні значення

числових кодів. Завдяки його наявності вхідні аналогові сигнали перетворюються у відповідні їм цифрові, придатні для роботи з програмно-технічним комплексом, комп'ютером або іншими цифровими пристроями.

Аналого-цифрові перетворювачі застосовують у мікропроцесорних системах, у цифрових вимірювальних приладах, у системах відображення для цифрової індикації, цифрових системах керування для перетворення аналогових сигналів від датчиків у цифрову форму, у системах передавання даних та інших областях техніки. У різних видах систем вони часто застосовуються разом з цифро-аналоговими перетворювачами, з якими вони доповнюють один одного.

Фізично процес аналого-цифрового перетворення складається із квантування й кодування. Відповідно в аналого-цифровому перетворювачі можна виділити цифрову та аналогову частини. Цифрова частина виконує кодування й декодування, зсув й додавання цифрової інформації, запам'ятовування, порівняння, приймання і обробку команд на перетворення та виробляє сигнали керування. На цей час для виконання перерахованих операцій широко використовують мікропроцесори.

В аналоговій частині здійснюються операції порівняння, вибірки й зберігання, посилення, комутації аналогового сигналу, а також операції по його вирахуванню, додаванню, розподілу й перемноженню, інтегруванню й диференціюванню. Одним із варіантів класифікації аналого-цифрових перетворювачів є класифікація за ознакою часового розгортання процесу перетворення аналогової величини в цифрову. Відповідно до цієї ознаки вибіркові значення отриманого аналогового сигналу перетворюються в цифрові еквіваленти операціями квантування й кодування за допомогою або паралельної, або послідовної, або послідовно-паралельної процедури наближення цифрового еквівалента до перетвореної величини.

Під час реалізації різних систем, які застосовують аналого-цифрові перетворювачі, іноді передавання інформації потребує її перенесення на суттєві

відстані. В залежності від призначення та виконуваних функцій системи простір її розповсюдження може бути значним.

При побудові пристроїв, що зв'язують цифрові лінії передачі сигналів з об'єктами, що використовують інформацію в безперервній формі, потрібне перетворення інформації із цифрової форми в аналогову (безперервну) і з аналогової в цифрову.

Цифро-аналогове перетворення забезпечує перетворення дискретних сигналів, представлених цифровим кодом, в еквівалентні їм аналогові (безперервні в часі) сигнали. Такі коди звичайно представляються у двійковій, десятиричній або іншій системі числення; а вихідними величинами найчастіше є часові інтервали, електрична напруга або струм, частота коливань які є вхідними сигналами для каналів керування.

Візуалізація даних з програмно-технічного комплексу, що стосуються роботи вимірювальних каналів та каналів керування, надається на робочому автоматизованому місці оператора або диспетчера. Ця інформація подається у вигляді цифрового значення вимірюваного параметра відповідно до обраної одиниці вимірювання. Таким чином, програмно-технічний комплекс забезпечує збір, обробку та передачу необхідної інформації про контрольовані об'єкти на основі обробки вихідних сигналів вимірювальних каналів та видачу команд управління. У програмно-технічний комплекс можуть входити програмно-технічні засоби, такі як контролери, в тому числі, Fuzzy - контролери, субмодулі аналогових та дискретних вхідних сигналів, модулі управління, модуль центрального контролера, блоки живлення, комутаційні панелі, модеми, канали зв'язку, пристрої передачі даних, сервери (робочий та резервний) системи диспетчерського управління та збору даних, комутаційне обладнання, автоматизоване робоче місце диспетчера тощо.

Таким чином, вимірювальні канали є каналами, які надають виміряну інформацію щодо стану об'єкту, тому датчики та вимірювані перетворювачі є засобами вимірювальної техніки, а, точніше, вимірювальними пристроями, що реалізують конкретні вимірювальні операції.

Схема функціонування такої системи наведена на рисунку 4.2.

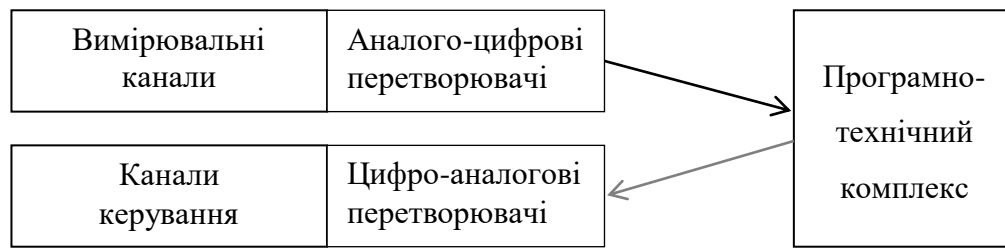


Рисунок 4.2 – Взаємозв'язок між компонентами системи

Вимірювальні перетворювачі є вимірювальними пристроями, призначеними для формування сигналу вимірюваної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та збереження. Але сигнал від вимірювального перетворювача безпосередньо не візуалізується.

Датчики є первинними вимірювальними перетворювачами та існують досить різноманітні як за принципом дії, так і за характером вихідного сигналу. Він є елементом вимірювальної системи, на який безпосередньо впливає явище, тіло або речовина, що є носієм величини, що вимірюється.

Датчики класифікуються за видами вимірювальної величини (первинні перетворювачі температури, тиску, рівня, густини тощо), за принципом дії і принципом використання енергії живлення (пневматичні, електричні, гідравлічні та ін.), а також за видом і характером вихідного сигналу (неперервні, дискретні).

Важливою характеристикою первинного вимірювального перетворювача є функціональна залежність між вимірюваною величиною та вихідним сигналом перетворювача. На цей час наявно багато типів датчиків, які розміщені в одному корпусі з вимірювальним перетворювачем.

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [11] до засобів вимірювальної техніки відносяться засоби вимірювань, вимірювальні системи, матеріальні міри, стандартні зразки та будь-які частини засобів вимірювань або вимірювальних систем, якщо ці частини можуть бути об'єктом спеціальних вимог та окремого оцінювання

відповідності. Тому згідно із чинним законодавством України вимірювальні пристрої розглядаються як частини засобів вимірювань або вимірювальних систем, які є об'єктом спеціальних вимог та окремого оцінювання відповідності.

Відповідно до ISO/IEC Guide 99:2007 - International vocabulary of metrology (VIM) [12]:

вимірювальна система (англ. measuring system) – набір з одного або більше вимірювальних приладів та часто та інших пристроїв, що включає, при необхідності, реактиви або джерела живлення, зібраний та пристосований до отримання інформації про виміряні значення величини в межах встановлених інтервалів для величин певних родів.

Вимірювальний ланцюг (англ. measuring chain) – послідовність елементів вимірювальної системи, яка становить єдиний шлях сигналу від датчика до вихідного елемента. Вихідним елементом вимірювального ланцюга конкретного вимірювального каналу для систем, що розглядаються, є аналого-цифровий перетворювач.

У разі побудови інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем здійснюється поєднання безлічі вимірювальних пристроїв, кожний з яких виконує відносно прості функції щодо надання необхідної вимірювальної інформації у визначеному форматі до програмно-технічного комплексу. При цьому уся система виконує складні функції, такі як:

- збирає інформацію на об'єкті;
- обробляє її;
- передає на відстань;
- візуалізує та реєструє отриману інформацію;
- формує сигнали для каналів керування з метою здійснення управління об'єктом.

#### 4.2 Встановлення метрологічних характеристик вимірювальних каналів системи, яка застосовує методи нечіткої логіки

Метрологічні характеристики мають велике значення для правильного застосування інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи та забезпечення достовірності прийнятих рішень. Взагалі метрологічні характеристики є частиною технічних характеристик, які необхідні для оцінки похибки вимірювань вимірювальним каналом системи.

Компоненти вимірювальних каналів мають технічні характеристики, які описують їх функціонування. Але до складу технічних характеристик засобів вимірювальної техніки обов'язково входять метрологічні характеристики. До метрологічних характеристик відносяться ті характеристики, які необхідні для забезпечення точності вимірювань, що проводяться за допомогою вимірювального пристрою.

Ці метрологічні характеристики нормуються для кожного компоненту вимірювального каналу та застосовуються для визначення похибок результату вимірювання. Знання метрологічних характеристик вимірювального каналу необхідно для достовірного переходу від чисельного значення вимірюваної величини до встановленого значення функції приналежності відповідному терму.

Нормування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, в тому числі і вимірювальних каналів, визначено у рекомендації Міжнародної організації законодавчої метрології OIML R 34, яка впроваджена в Україні як національний стандарт ДСТУ OIML R 34:2014 [14].

В цьому документі визначені такі метрологічні характеристики як похибка та класи точності засобів вимірювальної техніки за їх категоріями. Цей міжнародний документ встановлює принципи класифікації засобів вимірювальної техніки відповідно до їх точності, та поширюється на такі засоби вимірювальної техніки:

- матеріальні міри, що зберігають відповідну кількість величини,

- засоби вимірювань, що реалізують процес вимірювань та за показами яких визначається значення вимірюваної величини, в тому числі, вимірювальні канали;

- вимірювальні перетворювачі, що перетворюють величину одного роду у відповідне значення величини іншого роду.

Згідно із законодавством України до застосування допускаються лише ті засоби вимірювальної техніки, для яких установлені метрологічні характеристики. Інші вимірювальні засоби, для яких не встановлені метрологічні характеристики, можуть використовуватися лише у якості індикатора.

Для вимірювальних каналів обов'язково повинні бути встановлені принаймні дві метрологічні характеристики – діапазон вимірювання та похибка вимірювань.

Діапазон вимірювань розглядається як інтервал значень вимірюваної величини, для якого встановлена похибка. Для вимірювального каналу системи діапазон вимірювань повинен бути визначений відповідно до можливої зміни значень параметру об'єкту, що визначається цим вимірювальним каналом.

Граничні значення діапазону вимірювань називають найбільшим і найменшим значеннями (верхньою і нижньою границею вимірювань). У разі необхідності, для забезпечення більш високої точності вимірювань цей діапазон розбивають на піддіапазони, кожен з яких може мати різні похибки вимірювань. З діапазоном вимірювань не обов'язково збігається діапазон показів вимірювального каналу, який визначається інтервалом значень вимірюваної величини, який обмежений кінцевим і початковим значеннями. Діапазон вимірювань може бути меншим від діапазону показів, оскільки на окремих ділянках шкали (здебільшого на початковій і кінцевій) нормована похибка не гарантується.

Таким чином, діапазон вимірювань вимірювального каналу повинен вибиратися в залежності від встановлених терм для відповідного параметру.



Похибка вимірювального каналу характеризує близькість показу цього каналу до істинного значення вимірюваної величини. Однак, істинне значення вимірюваної величини не може бути відоме, тому похибка каналу встановлюється як різниця між його показом ( $X_{\text{вк}}$ ) та дійсним (еталонним) значенням ( $X_{\text{ет}}$ ):

$$\Delta = X_{\text{вк}} - X_{\text{ет}},$$

де  $X_{\text{вк}}$  – значення, отримане вимірювальним каналом;

$X_{\text{ет}}$  – значення, задане еталоном.

Класифікація похибок відповідає загально встановленій класифікації похибок засобів вимірювальної техніки

Вибір форми вираження похибки для вимірювального каналу здійснюється за їх властивостями з урахуванням: принципу дії компонентів, їхнього вимірювального перетворення, використання та інших факторів, які можуть впливати на залежність похибки від значення величини.

Клас точності є узагальненою характеристикою засобів вимірювальної техніки, що визначається границями його допустимих основної та додаткової похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність.

Для кожного класу точності однієї категорії засобів вимірювальної техніки повинні бути встановлені параметри та характеристики, які визначають специфічні метрологічні властивості та можуть спричинити похибки вимірювань, які виконуються цими засобами.

Для вимірювальних каналів клас точності не встановлюється.

Під час визначення похибок вимірювальних каналів зазвичай, враховуються такі похибки їх компонентів:

- основна похибка;
- додаткова похибка, що спричиняється змінами впливних величин, які викликають зміни показів вимірювального каналу, зміни величини, відтвореної його компонентами;

- нестабільність з часом;
- похибка гістерезису (варіація);
- розподільна здатність.

Тому для кожного вимірювального каналу параметри та характеристики подають у формі максимально допустимих основних та додаткових похибок, максимально допустимої нестабільності та максимально допустимого відхилення від еталонного.

Максимальні похибки вимірювальних каналів можуть бути виражені у різних формах за методом розрахунку як:

- абсолютні похибки;
- зведені похибки;
- відносні похибки.

Максимальні похибки вимірювальних каналів виражають у формі абсолютних похибок (тобто в одиницях величин, які вимірюються), якщо ці засоби призначені для галузі вимірювань, де прийнято оцінювати рівень точності результатів у значеннях, виражених в одиницях вимірюваних величин.

Максимальні похибки засобів вимірювальної техніки виражають у формі зведених похибок, тобто як відсоток від прийнятого значення, якщо абсолютні похибки в діапазоні шкали практично не залежать від значення вимірюваної величини та якщо в той самий час необхідно виразити максимальні похибки числом, яке залишається незмінним для конкретних типів вимірювальних каналів, де верхні границі діапазонів вимірювання різні.

Максимальні похибки вимірювального каналу виражають у формі відносних похибок, тобто як відсоток від значення вимірюваної величини, якщо абсолютні похибки каналу є приблизно лінійною функцією вимірюваної величини та якщо в той самий час зручно позначати ці максимальні похибки числом (або числами), які залишаються незмінними для конкретних типів вимірювальних каналів, у яких верхні границі діапазону вимірювання різні.

На міжнародному та вітчизняному рівні застосовуються однакові методи нормування похибки за методом розрахунку (абсолютна, відносна та зведена) засобів вимірювальної техніки.

Якщо максимальні похибки вимірювальних каналів виражені у формі абсолютних похибок та не залежать від значення вимірюваної величини, то максимальна абсолютна похибка встановлюється відповідно до формули:

$$\Delta = \pm a,$$

де  $\Delta$  – абсолютна максимальна похибка,

$a$  – постійне значення, виражене в одиницях вимірюваної величини.

Якщо максимальні похибки вимірювальних каналів виражені у формі абсолютних похибок та є в постійній залежності від значення вимірюваної величини, то максимальна абсолютна похибка встановлюється відповідно до формули:

$$\Delta = \pm (a + bx),$$

де  $\Delta$  – абсолютна максимальна похибка,

$a$  – постійне значення, виражене в одиницях вимірюваної величини,

$x$  – значення вимірюваної величини,

$b$  – додатне абстрактне постійне число.

Зведена максимально допустима похибка вимірювального каналу встановлюються відповідно до формули:

$$\gamma = \pm 100 |\Delta| / x_N \% = \pm p \%,$$

де  $\gamma$  – максимальна зведена похибка, виражена як відсоток від прийнятого нормуючого значення  $X_N$ ,

$|\Delta|$  – абсолютна максимальна похибка, виражена в тих самих одиницях, як прийняте нормуюче значення  $x_N$ , без врахування знака,

$p$  – додатне абстрактне число.

Для вимірювальних каналів нормуючим значенням приймається значення верхньої границі діапазону вимірювань.

Якщо максимальні похибки вимірювальних каналів виражені у формі відносних похибок та не залежать від значення вимірюваної величини, максимальна відносна похибка встановлюється відповідно до формули:

$$\delta = \pm 100 |\Delta| / x \ \% = \pm c \ \%,$$

де  $\delta$  – максимальна відносна похибка, виражена у відсотках від значення  $x$ ,

$x$  – значення вимірюваної величини,

$|\Delta|$  – абсолютна максимальна похибка без врахування знака,

$c$  – додатне абстрактне число.

Для всіх типів вимірювальних каналів повинні бути встановлені значення максимально допустимих похибок, які можуть бути нормовані наступним чином:

- максимальна основна похибка (або похибки) та відповідні нормальні умови;
- максимальні додаткові похибки та максимальні їх діапазони під час використання для кожної впливної величини;
- допустимі границі змін у показах, як результат дії впливних величин, границі допустимої нестабільності за часом;
- параметри та характеристики, що визначають всі інші метрологічні властивості окремих компонентів та вимірювального каналу в цілому.

Під час застосування методів нечіткої логіки всі значення, отримані вимірювальними каналами, перетворюються у програмно-технічному комплексі у значення функції приналежності відповідним термам, створених Fuzzy - контролером на підставі наданої бази даних.

При цьому похибка вимірювального каналу повинна надавати можливість Fuzzy - контролеру проводити цю операцію із забезпеченням достовірності такого перетворення. Для цього значення похибки вимірювального каналу повинно враховувати діапазон значень для кожного терму і градацію для величини, що вимірюється, та відповідати вимозі не перевищення  $1/3$  від інтервалу значень, які враховуються для прийняття рішення.

На рисунку 4.3 показана можливість розташування послідовності двох термів.

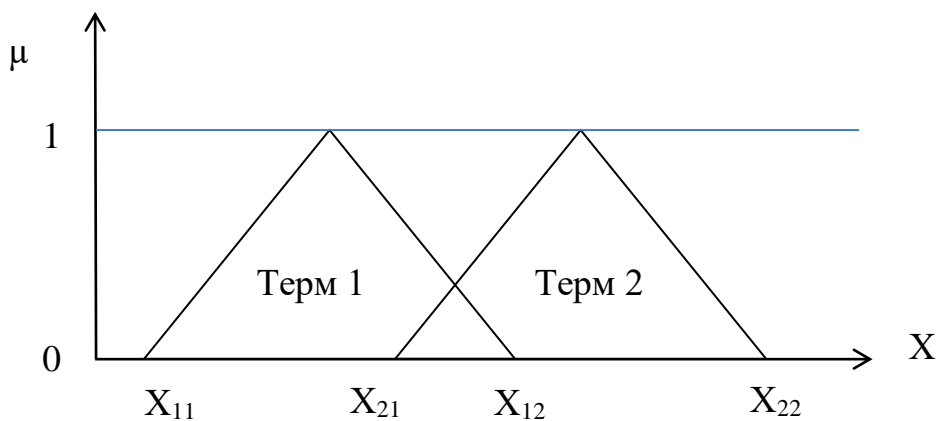


Рисунок 4.3 – Приклад встановлення проміжку між сусідніми термами.

Наприклад, для управління температурою у приміщенні вимірювана температура – це число, яке необхідно перекласти у градації «тепло» – «холодно». Для цього використовують так зване експертне сприйняття (знання) людини. Для функції приналежності вибраний діапазон значень від 0 до 1. Розглянемо можливі значення функцій приналежності для термів «холодно», «тепло» та «жарко» відповідно до значень температури у приміщенні. В таблиці 4.1 наведені можливі варіанти значень функції приналежності в залежності від температури у приміщенні з урахуванням бажаної температури.

В залежності від прийнятих для цього терму початкових та кінцевих значень температури, регулювання буде відбуватися в залежності від отриманих значень вимірювального каналу температури.

Таблиця 4.1 – Можливі значення функції приналежності

Значення температури	15 °C	18 °C	21 °C	25 °C	30 °C
Функція приналежності до терму «холодно»	0,1	0	0	0	0
Функція приналежності до терму «тепло»	0	0,5	1	1	0
Функція приналежності до терму «жарко»	0	0	0	0	1
Висновки щодо необхідності управління температурою	Треба збільшити температуру		Не треба регулювати температуру		Треба зменшити температуру

Згідно цієї таблиці 4.1 при надходженні від вимірювального каналу значень температури менших ніж 15 °C та до температури 21 °C на канал керування надають сигнал щодо збільшення температури. При значеннях температури від 21 °C до 25 °C температура не регулюється. При температурі більше 25 °C на канал керування надають сигнал щодо зменшення температури.

У зв'язку з тим, що значення температури розглядаються з інтервалом 1 °C, то похибка вимірювання температури вимірювальним каналом не повинна перевищувати 0,3 °C.

Аналогічний підхід до визначення похибки вимірювання вимірювальним каналом необхідно застосовувати до всіх вимірювальних каналів, це дозволить забезпечити достовірність прийнятих рішень.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Підчас розроблення інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи розробники застосовують комп'ютери. Не виконання вимог до роботи на комп'ютері може привести до погіршення стану їх здоров'я. Тому розробники систем повинні виконувати вимоги, які наведені у інструкції з охорони праці. Нижче наведена така розроблена інструкція.

### 5.1 Загальні вимоги безпеки

5.1.1 До роботи на персональному комп'ютері допускаються особи, які пройшли навчання безпечним методам праці, вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці.

5.1.2 При експлуатації персонального комп'ютера на працівника можуть діяти такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищений рівень статичної електрики;
- знижена іонізація повітря;
- статичні фізичні навантаження;
- перенапруження зорових аналізаторів.

### 5.1.3 Працівник зобов'язаний:

5.1.3.1 Виконувати лише ту роботу, яку визначено його посадовою інструкцією.

5.1.3.2 Утримувати у чистоті робоче місце.

5.1.3.3 Дотримуватися режиму праці та відпочинку залежно від тривалості, виду та категорії трудової діяльності.

5.1.3.3 Дотримуватись заходів пожежної безпеки.

5.1.4 Робочі місця з комп'ютерами повинні розміщуватися таким чином, щоб відстань від екрану одного відеомонітора до тилу іншого була не менше 2,0 м, а відстань між бічними поверхнями відеомоніторів не менше 1,2 м.

5.1.5 Робочі місця з персональними комп'ютерами по відношенню до світлових прорізів повинні розташовуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

5.1.6 Віконні отвори в приміщеннях, де використовуються персональні комп'ютери, повинні бути обладнані пристроями типу, що регулюються: жалюзі, завіс, зовнішніх козирків та ін.

5.1.7 Робочі меблі для користувачів комп'ютерною технікою повинні відповідати таким вимогам:

- висота робочої поверхні столу повинна регулюватися в межах від 680 мм до 800 мм; за відсутності такої можливості висота робочої поверхні столу має становити 725 мм;

- робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше 600 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм та на рівні витягнутих ніг не менше 650 мм;

- робочий стілець (крісло) має бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті та кутам нахилу сидіння та спинки, а також - відстані спинки від переднього краю сидіння;

- робоче місце має бути обладнане підставкою для ніг, що має ширину не менше ніж 300 мм, глибину не менше ніж 400 мм, регулювання по висоті в межах до 150 мм та по куту нахилу опорної поверхні підставки до 20 градусів; поверхня підставки повинна бути рифленою та мати по передньому краю бортик заввишки 10 мм;

- робоче місце з персональним комп'ютером повинно бути оснащено пюпітром для документів, що легко переміщається.

5.1.8 Для нормалізації аеропонного фактора приміщень з комп'ютерами необхідно використовувати пристрої автоматичного регулювання іонного режиму повітряного середовища.

5.1.9 Жінки з часу встановлення вагітності та в період годування груддю для виконання всіх видів робіт, пов'язаних з використанням комп'ютерів, не допускаються.



5.1.10 За невиконання цієї інструкції винні притягуються до відповідальності згідно з правилами внутрішнього трудового розпорядку.

## 5.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

5.2.1 Підготувати робоче місце.

5.2.2 Налаштувати освітлення на робочому місці, переконатися у відсутності відблисків на екрані.

5.2.3 Перевірити правильність підключення обладнання до електромережі.

5.2.4 Перевірити справність проводів живлення та відсутність оголених ділянок проводів.

5.2.5 Перевірити наявність заземлення системного блоку, монітора та захисного екрану.

5.2.6 Протерти антистатичною серветкою поверхню екрана монітора та захисного екрану.

5.2.7 Перевірити правильність установки столу, стільця, підставки для ніг, попітра, кута нахилу екрана, положення клавіатури, положення "миші" на спеціальному килимку, при необхідності провести регулювання робочого столу та крісла, а також розташування елементів комп'ютера відповідно до вимог ергономіки та з метою виключення незручних поз та тривалих напруг тіла.

## 5.3 Вимоги безпеки під час роботи

5.3.1 Працівнику під час роботи на ПК забороняється:

- торкатися задньої панелі системного блоку (процесора) при включеному живленні;
- перемикати роз'єм інтерфейсних кабелів периферійних пристроїв при включеному живленні;

- допускати попадання вологи на поверхню системного блоку (процесора), монітора, робочої поверхні клавіатури, дисководів, принтерів та інших пристроїв;

- проводити самостійне розтин та ремонт обладнання;

- працювати на комп'ютері при знятих кожухах;

- відключати обладнання від електромережі та висмикувати електровилку, тримаючись за шнур.

5.3.2 Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години.

5.3.3 Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційної напруги, втоми зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку втоми виконувати комплекси вправ.

#### 5.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.4.1 У всіх випадках обриву проводів живлення, несправності заземлення та інших пошкоджень, появи гару, негайно відключити живлення та повідомити про аварійну ситуацію керівника.

5.4.2 Не приступайте до роботи до усунення несправностей.

5.4.3 При отриманні травм або раптового захворюванні негайно сповістити свого керівника, організувати першу долікарську допомогу або викликати швидку медичну допомогу.

#### 5.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

5.5.1 Вимкнути живлення комп'ютера.

5.5.2 Упорядкувати робоче місце.

5.5.3 Виконати вправи для очей та пальців рук на розслаблення.

Під час розроблення програмного забезпечення, без якого програмно-технічний комплекс не працює, програмісти повинні виконувати вимоги охорони праці інструкції, наведеної нижче.

Інструкція розроблена на основі чинних нормативно-правових актів.

Ця інструкція встановлює загальні вимоги з охорони праці для програміста.

Усі роботи, які проводяться програмістом, повинні виконуватися відповідно до цієї інструкції та інструкції щодо роботи на комп'ютері.

Робочим місцем протягом усієї робочої зміни для програміста є спеціально обладнане місце.

До виконання робіт допускаються особи, які пройшли навчання, стажування, інструктаж з питань охорони праці, у тому числі при виконанні робіт з підвищеною небезпекою, ознайомлені з правилами поведіння при виникненні аварій та надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05) [13].

Графік роботи програміста встановлюється згідно правил внутрішнього трудового розпорядку.

Програміст зобов'язаний:

- піклуватися про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей у процесі виконання будь-яких робіт або під час знаходження на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги інструкцій з охорони праці і по видах робіт на своєму робочому місці;
- виконувати роботу відповідно до вимог інструкційно-технологічної карти;
- вміти користуватися засобами індивідуального і колективного захисту;

- знати і виконувати Правила поведження з устаткуванням, інвентарем, користуватися технічним паспортом на устаткування;

- знати і виконувати обов'язки з охорони праці, передбачені колективним договором, правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства, в тому числі:

- вчасно починати і закінчувати роботу, дотримуватися розкладу технологічної і обідньої перерв;

- не виконувати роботи, що не передбачені змінним завданням;

- не перебувати на роботі в неробочій час без відповідного розпорядження керівника;

- дотримуватись правил корпоративного поведження;

- проходити в установленому порядку медичні огляди;

- вміти надати першу допомогу потерпілому від нещасного випадку;

- перед початком роботи перевіряти справність устаткування, огорожень, інженерно-технічних засобів безпеки, інвентарю, засобів пожежогасіння;

- співпрацювати з роботодавцем у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати можливих заходів щодо усунення будь-якої ситуації, що створює загрозу її життю чи здоров'ю або людям, які її оточують та навколишньому природному середовищу;

- при виявленні недоліків чи небезпеки зобов'язана повідомляти безпосереднього керівника або іншу посадову особу.

Загальні вимоги перед початком роботи. Перевірити:

- справність обладнання, інструменту, приладів;

- наявність і справність достатнього освітлення, вентиляції, обладнання тощо;

- перевірити справність рубильників, розеток, штепсельних з'єднань тощо.

У випадку виявлення будь-яких відхилень, несправностей, пошкоджень негайно повідомити керівника робіт.

Загальні вимоги при виконанні роботи:

Виконувати роботу згідно із своїми посадовими обов'язками.

Не залишати без нагляду своє робоче місце, коли обладнання підключено до електромережі.

У випадку виявлення будь-яких відхилень, несправностей, пошкоджень негайно повідомити керівника робіт.

Вимоги до охорони праці після закінчення робіт:

Перевірити своє робоче місце.

Відключити від електромережі електрообладнання.

Закрити вікна.

Вжити заходів особистої гігієни: старанно вимити руки, при можливості прийняти душ.

Привести в порядок спеціальний одяг, зняти і прибрати його в окреме місце.

## ВИСНОВКИ

На підставі проведених досліджень можна зробити висновки, наведені нижче.

Розгляд застосування методів нечіткої логіки для вирішення різних науково-технічних та практичних робіт доводить доцільність застосування цих методів для побудови інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем для вирішення різноманітних завдань, пов'язаних з транспортом та відповідною інфраструктурою.

Застосування таких методів дозволяє поєднати математичні методи з логікою людини – фахівця в сфері функціонування такої системи для вирішення поставлених завдань. Встановлення правил прийняття рішень на кожному рівні ієрархічної структури системи дозволяє оцінити найкращі можливості щодо прийняття рішень у конкретній ситуації.

Інформація для прийняття рішень застосовується та, що приходить як вихідний сигнал вимірювальних каналів, які поступають на Fuzzi - контролер програмно-технічного комплексу системи, функція якого полягає у перетворенні чітких вхідних значень на нечіткі значення, визначення необхідного рішення згідно з встановленими правилами рішень та перетворення їх у сигнали каналів керування.

Під час розроблення та забезпечення функціонування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем, в яких застосовані методи нечіткої логіки, важливо встановлення метрологічних вимог до вимірювальних каналів, а також їх побудови та застосування відповідних інформаційних сигналів згідно з побудовою всієї системи. Важливим питанням є встановлення похибки вимірювальних каналів з урахуванням особливостей визначених терм нечіткої логіки.

Інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи, застосовуючи нечітку логіку, дозволяють вирішити будь-яке завдання системи на транспорті.

**Апробація результатів.** Результати роботи було представлено на [15]: Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах» (Харків, листопад 2023).

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fernando Matia. Fuzzy Modeling and Control. Theory and Applications : Springer, 2014. 288 p.
2. Tarrell Harvey, Dallas Mullins. Fuzzy Modeling and Control. Methods, applications and research: Nova, 2018. 173 p.
3. Т. А. Желдак, Л. С. Коряшкіна, С. А. Ус. Елементи теорії нечітких множин. : навч. посібник, Дніпро : НТУ «ДП», 2022. – 46 с.
4. Новицький І. В. Сучасна теорія керування // І. В. Новицький, С. А. Ус / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 263 с.
5. Желдак Т. А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: навч. посіб. / Т. А. Желдак, Л. С. Коряшкіна, С. А. Ус; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 387 с.  
URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/156356>
6. Ус С. А. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С. А. Ус, Л. С. Коряшкіна; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 2-ге вид. випр. – Дніпро : НТУ «ДП», 2018. – 302 с.
7. Куш Є. І. Конспект лекцій з дисципліни «Системи управління транспортом» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання спеціальностей «Транспортні системи» і «Організація перевезень і управління на транспорті») / Є. І. Куш; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 36 с.
8. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті : навчальний посібник / В. А. Кашканов, А. А. Кашканов, В. П. Кужель. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 104 с.
9. Автоматизована система управління транспортними перевезеннями/ С.С. Забара, М.Т. Дехтярук // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2014. – № 2. – С. 18-28.



10. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань.  
Метрологія. Терміни та визначення

URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=78591](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=78591)

11. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 5 червня 2014 року № 1314-VII

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>

12. ISO/IEC GUIDE 99:2007 Міжнародний словник з метрології Основні та загальні поняття та відповідні терміни (VIM)

URL: <https://www.iso.org/ru/standard/45324.html>

13. НПАОП 0.00-4.12-05:2015 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці / Наказ Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text>

14. ДСТУ OIML R 34:2014 Метрологія. Класи точності засобів вимірювальної техніки (OIML R 34:1979, IDT)

URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=92783](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=92783)

15. Талків Д. Р., Діденко Н. В. Дослідження методів нечіткої логіки в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах на транспорті / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах». Х.: ХНАДУ, 2 листопада 2023 р. – С. 30-33.

<https://dl2022.khadi-kh.com/course/view.php?id=4888>

ДОДАТОК А  
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно - дорожній університет  
(ХНАДУ)

Механічний факультет  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

## **ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ**

### **до дипломної роботи магістра**

Дослідження методів нечіткої логіки в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах на транспорті

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, проф.

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент

Керівник, канд. техн. наук, доцент

Студент гр. ММ-61-22



О. І. Богатов



І. В. Грайворонська



Н. В. Діденко



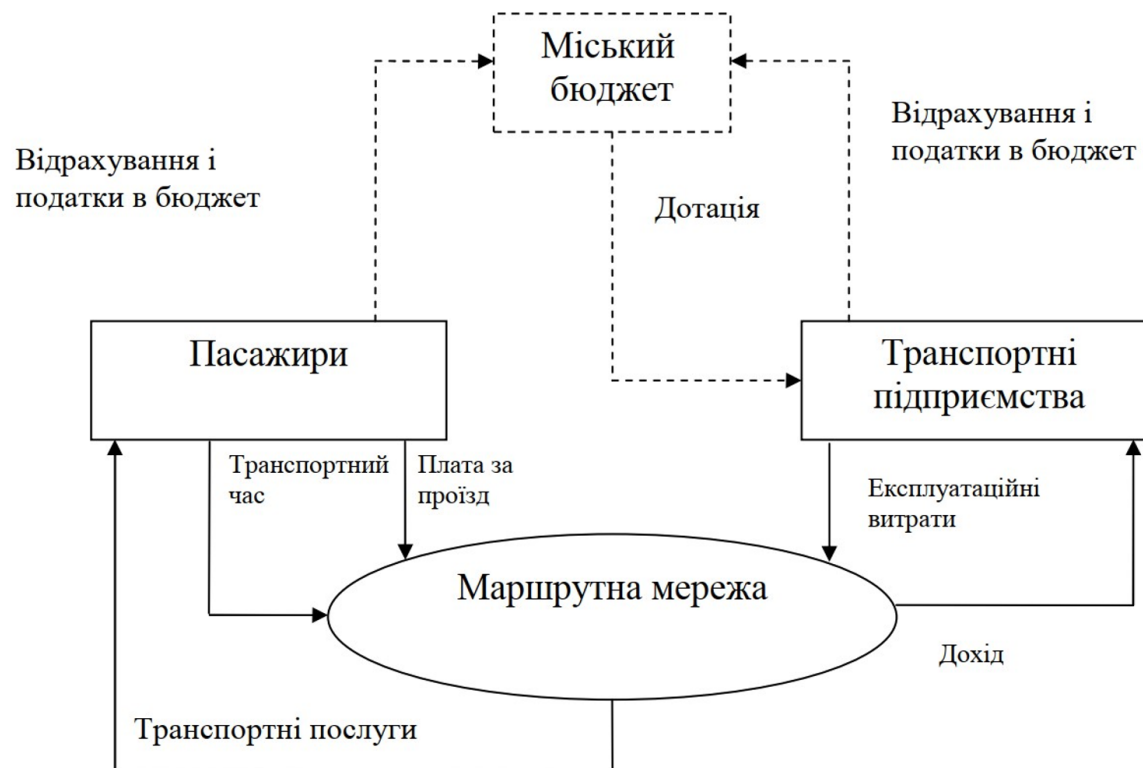
Д. Р. Талків

Харків – 2023

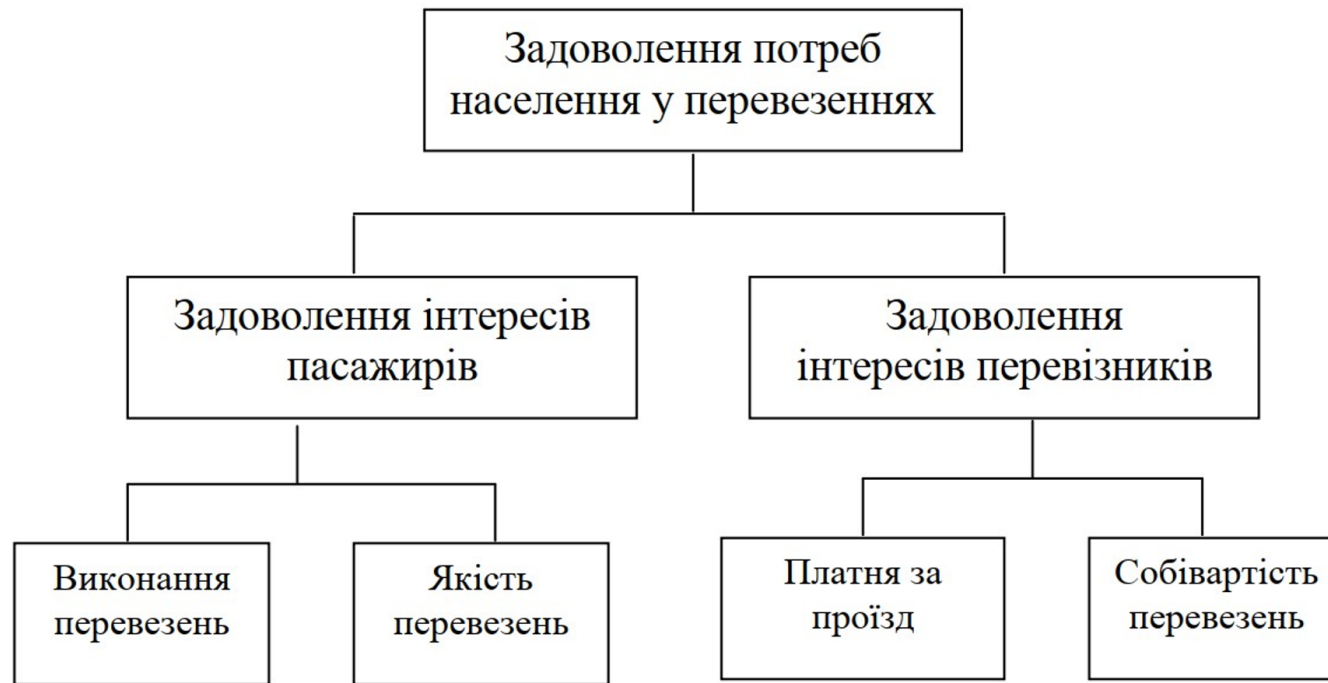
## Мета, об'єкт, задачі дослідження

- ▶ **Об'єкт** — інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи на транспорті.
- ▶ **Мета** — забезпечення функціонування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті на підставі застосування методів нечіткої логіки
- ▶ **Метод дослідження** - теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях метрології щодо забезпечення єдності вимірювань, допускового контролю, методів синтезу та аналізу, теорії систем, теорії ймовірності та математичної статистики і теорії нечіткої логіки.

# Схема взаємодії учасників транспортного процесу



## Дерево цілей системи управління пасажирськими перевезеннями



## Порівняльна таблиця нечіткої логіки та класичної логіки

Аспект	Нечітка логіка	Класична логіка	Приклади застосування	Управління системами, прогнозування, прийняття рішень в умовах невизначеності	Математика, філософія, інформатика, штучний інтелект.
Визначення	Логіка, яка дозволяє працювати з нечіткими чи невизначеними поняттями та значеннями	Логіка, заснована на принципі виключення третьої та двійкової системи обчислення.	Переваги	Облік невизначеності, гнучкість у роботі з нечіткими даними, можливість моделювання складних систем.	Простота та ясність, точність у роботі з чіткими даними, широке застосування в науці та техніці.
Принципи	Робота з нечіткими множинами, нечіткими правилами виведення та нечіткими операціями.	Використання істинності та хибності висловлювань, законів обчислення та правил виведення.	Недоліки	Складність інтерпретації результатів, вимога більшого обсягу обчислювальних ресурсів	Нездатність врахувати невизначеність, обмеженість у роботі з нечіткими даними.
Основні елементи	Невизначені значення, функції приналежності, операції над нечіткими множинами.	Істинні значення, висловлювання, операції логічного складання та множення.			

# Переваги та недоліки застосування

## Переваги



### 01. Облік нечіткості та невизначеності

Нечітка логіка дозволяє врахувати нечіткість і невизначеність у даних та знаннях, що дозволяє більш точно моделювати реальні ситуації. На відміну від класичної логіки, яка працює тільки з бінарними значеннями (істина / неістина), нечітка логіка дозволяє працювати з різними ступенями істинності.

### 02. Гнучкість та адаптивність

Системи з нечіткою логікою можуть бути гнучко налаштовані та адаптовані до різних умов та вимог. Вони можуть враховувати різні фактори та варіації в даних, що робить їх більш ефективними у реальних ситуаціях.

### 03. Інтуїтивність і легкість розуміння

Нечітка логіка ґрунтується на принципі лінгвістичного опису, що робить її більш зрозумілою та інтуїтивною для людей. Вона дозволяє використовувати природну мову та логіку, що спрощує взаємодію з системою та розуміння її висновків.

### 04. Ефективність в обробці нечіткої інформації

Системи з нечіткою логікою можуть ефективно обробляти нечітку інформацію та приймати рішення на основі нечітких правил. Вони можуть враховувати невизначеність і нечіткість даних, що дозволяє отримувати більш точні та адекватні результати.

## Недоліки



### 01. Складність побудови моделей

Побудова моделей з використанням нечіткої логіки може бути складною і вимагати певних навичок та експертизи. Необхідно визначити нечіткі змінні, функції приналежності та правила виведення, що може бути нетривіальним завданням.

### 02. Необхідність більшого обсягу даних

Для ефективної роботи системи з нечіткою логікою потрібен більший обсяг даних для визначення функцій належності та правил виведення. Це може бути проблемою у випадках, коли даних недостатньо або неоднорідні.

### 03. Відсутність формальної математичної основи

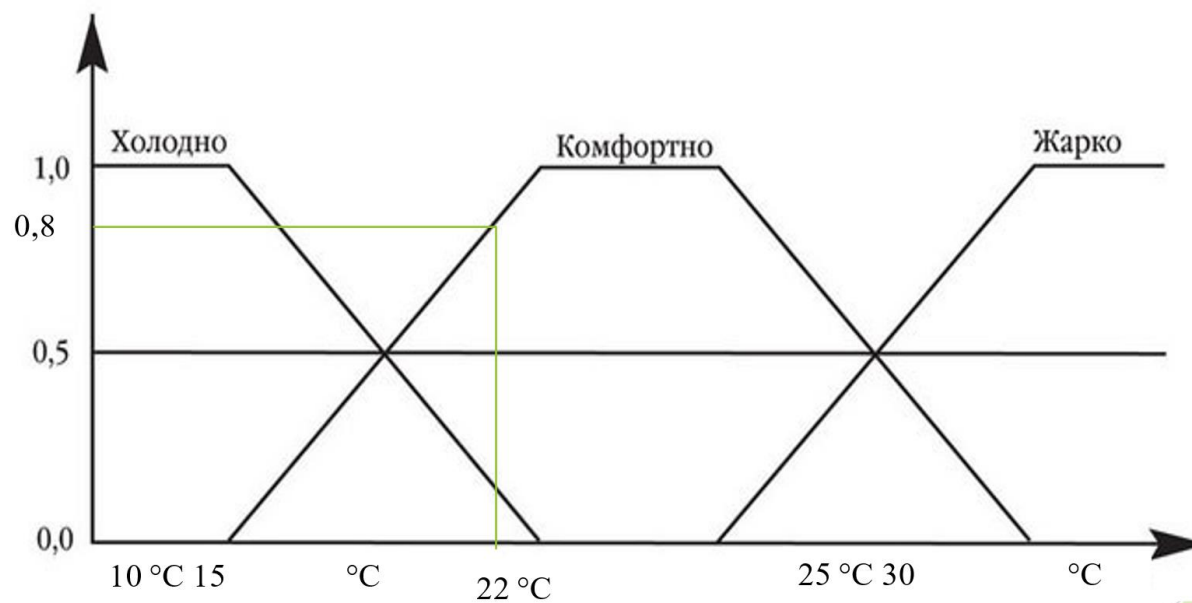
На відміну від класичної логіки, нечітка логіка не має суворої формальної математичної основи. Це може ускладнити аналіз та доказ властивостей систем з нечіткою логікою.

### 04. Складність інтерпретації результатів:

Інтерпретація результатів системи з нечіткою логікою може бути складною через нечіткість та невизначеність. Висновки можуть бути неоднозначними або важко інтерпретованими, що може ускладнити прийняття рішень.



## Реалізація лінгвістичних змінних



7

## Процес нечіткого управління

### **Фазифікація**

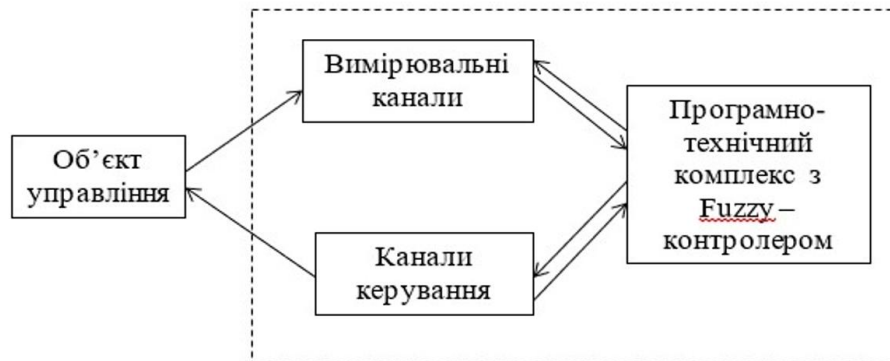
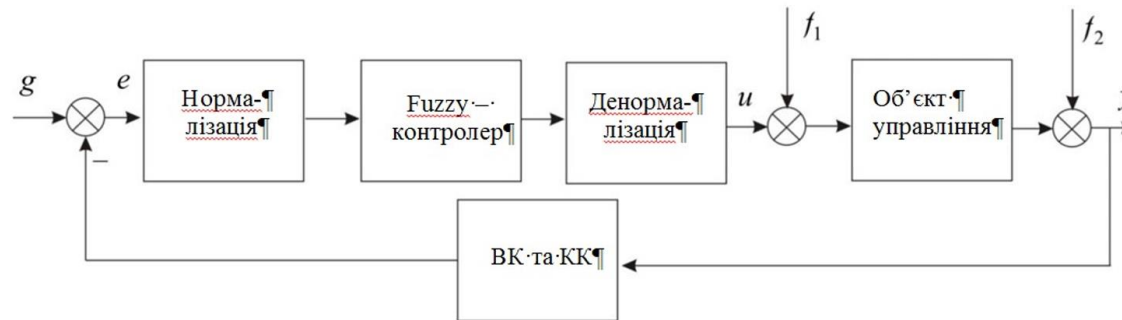
Перетворення чіткого  
значення в символічне  
нечітке значення

**Виконання** встановлених  
нечітких правил прийняття  
рішень

### **Дефазифікація**

Перетворення нечіткого  
символьного значення в  
чисельне значення

## Структура системи з Fuzzy - контролером



## Висновки

В магістерській роботі проведено

- ▶ огляд методів нечіткої логіки;
- ▶ огляд інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті з метою визначення доцільності застосування таких систем;
- ▶ дослідження можливості та доцільності застосування методів нечіткої логіки під час забезпечення функціонування інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем на транспорті;
- ▶ дослідження допустимої похибки вимірювання величин, які необхідні для функціонування систем на транспорті;

Наведені результати досліджень щодо застосування метрологічних вимог до вимірювальних каналів інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем, в яких використовуються методи нечіткої логіки.