

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І.І.МЕЧНИКОВА

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

**Дипломна робота**

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Нечіткі моделі в системах управління і прийняття рішень

Fuzzy models in control and decision making systems

Виконав: студент денної форми навчання

спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Загорюк Ярослав Олексійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник к.фіз-мат.н., доцент Крапівний Ю.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали, підпис)

Рецензент к.фіз-мат.н., доцент Шпінарева І.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент к. пед. н., доцент Сметаніна Л.С.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рекомендовано до захисту:

Захищено на засіданні ЕК №     

Протокол засідання кафедри

протокол №      від «      »      2019 р.

№      від «      »      2019 р.

Оцінка      /      /     

(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Завідувач кафедри

Голова ЕК

Є.В. Малахов

О.О. Арсірій

(підпис)

(прізвище, ініціали)

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Одеса - 2019

## АНОТАЦІЯ

Одним з напрямків розвитку систем штучного інтелекту є створення м'яких експертних систем, здатних робити логічний висновок на основі використання нечіткої бази знань.

Завданням даної дипломної роботи є створення, проектування і розробка системи для побудови нечітких моделей на основі нечіткої логіки, розробка програмного продукту для планування і прийняття рішень, заснованих на використанні нечіткої логіки, розробки експертної системи та створення лінгвістичної моделі подання бази знань.

В ході виконання роботи була спроектована і розроблена програмна система, що моделює нечіткий логічний висновок на основі нечіткої логіки. Функції, виконувані системою, аналогічні функціям Fuzzy Logic Toolbox пакету Matlab. Система дозволяє створювати нечітку базу правил на основі лінгвістичної моделі і виконує нечіткий логічний висновок для вирішення завдань в різних предметних областях: системи управління, системи прийняття рішень і тд.

Для демонстрації роботи програмного продукту була створена нечітка лінгвістична модель для управління роботою круїз-контролю автомобіля, яка приймає різні рішення щодо прискорення, гальмування і підтримки середньої швидкості автомобіля, в різних дорожніх умовах, яка бере до уваги нерівності рельєфу та інші фактори.

## АННОТАЦИЯ

Одним из направлений развития систем искусственного интеллекта является создание мягких экспертных систем, способных делать логический вывод на основе использования нечеткой базы знаний.

Задачей данной дипломной работы является создание, проектирование и разработка системы для построения нечетких моделей на основе нечеткой логики, разработка программного продукта для планирования и принятия решений, основанных на использовании нечёткой логики, разработки экспертной системы и создание лингвистической модели представления базы знаний.

В ходе выполнения работы была спроектирована и разработана программная система, моделирующая нечеткий логический вывод на основе нечеткой логики. Функции, выполняемые системой, аналогичны функциям Fuzzy Logic Toolbox пакета Matlab. Система позволяет создавать нечеткую базу правил на основе лингвистической модели и выполняет нечеткий логический вывод для решения задач в различных предметных областях: системы управления, системы принятия решений и тд.

Для демонстрации работы программного продукта была создана нечеткая лингвистическая модель для управления работой круиз-контроля автомобиля, которая принимает различные решения касательно ускорения, торможения и поддержки средней скорости автомобиля, в различных дорожных условиях, принимающая во внимание неровности рельефа и другие факторы.

## ABSTRACT

One of the directions of the development of artificial intelligence systems is the creation of soft expert systems that can draw a logical conclusion based on the use of a fuzzy knowledge base.

The objective of this thesis is to create, design and develop a system for building fuzzy models based on fuzzy logic, developing a software product for planning and decision making based on the use of fuzzy logic, developing an expert system and creating a linguistic model for representing the knowledge base.

In the course of the work, a software system was designed and developed that simulates fuzzy logic inference based on fuzzy logic. The functions performed by the system are similar to the functions of the Fuzzy Logic Toolbox of the Matlab package. The system allows you to create a fuzzy base of rules based on a linguistic model and performs a fuzzy logical conclusion for solving problems in various subject areas: control systems, decision-making systems, etc.

To demonstrate the operation of the software product, a fuzzy linguistic model was created to control the operation of the cruise control of the car, which makes various decisions regarding acceleration, braking and support the average speed of the car, in various road conditions, taking into account uneven terrain and other factors.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1...ВСТУП ДО ТЕОРІЇ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ. ОГЛЯД ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ТА АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВОДУ .....	11
1.1 Вступ до теорії нечіткої логіки.....	11
1.2 Поняття експертної системи .....	13
1.3 Алгоритм Мамдані.....	14
2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	17
2.1 .NET Framework.....	17
2.2 Система Windows Presentation Foundation.....	18
2.3 Open GL.....	19
2.4 Шаблон проектування .....	19
2.4.1 Singleton .....	20
2.4.2 Адаптер .....	20
2.4.3 Заступник .....	21
2.4.4 Facade .....	21
2.4.5 Стратегія .....	22
2.5 MVVM.....	22
2.6 SOLID .....	23
3.РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ.....	24
3.1 Огляд класів програми .....	24
3.2 Порівняння і демонстрація роботи програми і проведення нечіткого логічного виводу програмного продукту з існуючим аналогом. ....	35

ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	45
ДОДАТОК А ВИХІДНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЧІТКИХ ПРАВИЛ .....	47
ДОДАТОК Б ВИХІДНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЧІТКИХ ТЕРМІВ.....	51
ДОДАТОК В ВИХІДНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЧІТКОЇ ЗМІННОЇ.....	52
ДОДАТОК Г ВИХІДНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ УЗАГАЛЬНЕНОЇ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ .....	54
ДОДАТОК Д ВИХІДНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ ПЕРЕЧИСЛЕНЬ ДЛЯ КОНФІГУРАЦІЇ СИСТЕМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.....	59
ДОДАТОК Е РЕАЛІЗАЦІЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ З АЛГОРИТМОМ МАМДАНІ .....	60
ДОДАТОК Ж ВИХІДНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЇ НАЛЕЖНОСТІ .....	66
ДОДАТОК И РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ З АЛГОРИТМОМ СУГЕНО .....	72

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Скорочення:

API – Application Programming Interface

БЗ – База знань

ЕС – Експертні системи

ОС – Операційна система

ПО – Предметна область

## ВСТУП

У наші дні найпоширенішим напрямком в дослідженнях в області штучного інтелекту є проектування і утворення м'яких експертних систем, для зручності надалі будемо використовувати скорочення ЕС. Насамперед тому, що такі системи здатні розраховувати логічний висновок за допомогою використання нечіткої бази знань. Ця властивість є дуже важливою, а отже використовуючи такі системи, можна значно розширити перелік завдань, що виконуються у різних предметних областях. Для подібних систем, є дуже розповсюдженою проблема побудови математичних моделей і отримання нечіткого логічного висновку.

Вже протягом декількох десятиріч системи, що мають в основі нечітку логіку, розробляються і впроваджуються не тільки в галузях інформаційних систем, а й багатьох інших. Наприклад управління транспортними засобами, діагностика транспортних систем, управління побутовою технікою, управління банківськими системами, кліматичний контроль у автомобілях та будівлях, біржове та фінансове прогнозування. До речі на останньому ми ще будемо зупинитись, як приклад реалізації нашої програми.

Взагалі нечітка логіка є основою для багатьох завдань управління адже через значну складність математичних моделей які описують ці завдання вони не можуть бути вирішеними тільки за допомогою звичайної логіки.

Насамперед апарат нечіткої логіки доречно використовувати у наступних випадках:

- для дуже складних процесів, коли не може бути побудована проста математична модель;
- для нелінійних процесів високих порядків;
- при обробці лінгвістично сформульованих експертних знань.

У наші дні дуже актуальним стає використання ЕС, як основного засобу вирішення об'ємних завдань які важко формалізувати у багатьох різних

сферах та напрямках досліджень. Як правило, в усіх подібних завданнях або дуже складні або відсутні формальні алгоритми рішення, нечітка вихідна інформація і немає чітко поставленої мети. Усі вищеописані фактори призводять до того, що задля вирішування поставлених задач використовуються знання від людини-експерта в конкретній ПО. Пізніше на основі цих знань відбувається проектування і розробка ЕС. У цій системі здійснюється збір та управління знаннями, які, в свою чергу, здатні приймати рішення і виявляти оптимальні способи задля досягнення поставленої мети навіть в умовах неповноти і нечіткості інформації.

Зрозуміло, що знання експерту про вирішення задач із нечіткою і неповною вихідною інформацією має також нечітких характер. Щоб формалізувати ці знання використовується апарат теорії нечітких множин. За таких обставин поняття можуть бути формалізованими як нечіткі і лінгвістичні змінні, у той час як нечіткість дій буде формалізована як нечіткі алгоритми. Отже м'якими можна назвати такі ЕС, що мають здатність формалізувати нечітку інформацію представляти її у вигляді нечітких алгоритмів.

У навколишньому світі завдання, які можуть бути поставлені перед людиною, в найрізноманітніших сферах діяльності спочатку складні і різнобічні, тому їх рішення стає неможливим з використанням тільки лише точних алгоритмів і моделей.

Величезна кількість визначень виходячи з людського мислення з самого початку є нечіткими. Тому для їх опису був потрібний якийсь апарат. Таким став апарат теорії нечітких множин який запропонував Лофті Заде.

Завдання, які містять у своїй постановці нечіткість, часто характеризуються наявністю істотних невизначеностей типу:

- невизначеність цілей «максимум доходу при мінімумі витрат»;
- природна невизначеність;
- невизначеність дій супротивника.

Експертні системи користуються великою популярністю і займають важливе місце в якості систем прийняття рішень. Вони мають властивості накопичувати знання, отримані людиною в різноманітних областях застосування. Хоча з їхньою допомогою і можна вирішити багато сучасних завдань, в тому числі і завдань управління, прогнозування і прийняття рішень, але все ж вони тісно пов'язані, і навіть залежні від класичної логіки Аристотеля.

Найголовнішим методом представлення знань в подібних системах є створення правил, які, в свою чергу, отримати міркування, близькі до людських. Кожне з таких правил включає в себе посилку і висновок. Також допускається можливість наявності декількох посилок в правилі. При таких обставинах правила об'єднуються за допомогою логічних зв'язків. Зазвичай правила записуються у вигляді «якщо» (посилка) (зв'язок) (посилка) ... (посилка) то (висновок).

Метою роботи є розробка елементів м'якої ЕС для планування, прогнозування і прийняття рішень, заснованої на використанні нечіткої логіки та лінгвістичної моделі подання бази знань. Програмна система повинна забезпечувати можливості, аналогічні наявним в пакеті MATLAB середовища Fuzzy Logic Toolbox і бути сумісною на рівні експорту-імпорту моделей.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- дослідження існуючих методів;
- огляд і порівняльний аналіз існуючих аналогів;
- проектування програмного комплексу;
- реалізація програмного комплексу;
- створення моделі управління круїз-контролем автомобіля всередині створеного програмного комплексу;
- тестування;
- аналіз результатів.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі були проведені дослідження щодо застосування нечітких моделей у різних предметних областях та створили системи для побудови нечітких моделей на основі нечіткої логіки. Був розроблений програмний продукт для планування і прийняття рішень, розроблена ЕС та створена лінгвістична модель подання бази знань.

В ході виконання роботи була спроектована і розроблена програмна система, що моделює нечіткий логічний висновок на основі нечіткої логіки. Функції, що виконує система, аналогічні функціям Fuzzy Logic Toolbox пакету Matlab. Система дозволяє створювати нечітку базу правил на основі лінгвістичної моделі і виконує нечіткий логічний висновок для вирішення завдань в різних предметних областях: системи управління, системи прийняття рішень і тд. Для досягнення мети були досліджені існуючі методи застосування систем нечіткої логіки, проведено порівняльний аналіз з існуючими аналогами, був спроектований і реалізований програмний комплекс і проведено тестування і аналіз. Отримані результати були обґрунтовані.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нечітка логіка [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://gtmarket.ru/concepts/6941>
2. Лінгвістична змінна та нечіткі множини [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://studme.org/133129/lingvisticheskaya\\_peremennaya\\_nechetkie\\_velichiny](https://studme.org/133129/lingvisticheskaya_peremennaya_nechetkie_velichiny)
3. Лофті Заде. Нечітка логіка [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://www.baku.ru/enc-show.php?id=65156&cmm\\_id=276](https://www.baku.ru/enc-show.php?id=65156&cmm_id=276)
4. Експертні системи [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<http://www.aiportal.ru/articles/expert-systems/expert-systems.html>
5. Ебрахім Мамдані [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Ebrahim\\_Mamdani](https://en.wikipedia.org/wiki/Ebrahim_Mamdani)
6. Алгоритм Мамдані у системах нечіткого виводу [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://studbooks.net/2119426/informatika/algorithm\\_mamdani\\_sistemah\\_nechetkogo\\_vyvoda](https://studbooks.net/2119426/informatika/algorithm_mamdani_sistemah_nechetkogo_vyvoda)
7. .NET Framework [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/.NET\\_Framework](https://ru.wikipedia.org/wiki/.NET_Framework)
8. WPF Windows Presentation Foundation [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://professorweb.ru/my/WPF/base\\_WPF/level1/info\\_WPF.php](https://professorweb.ru/my/WPF/base_WPF/level1/info_WPF.php)
9. Open GL [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ru.bmstu.wiki/OpenGL\\_\(Open\\_Graphics\\_Library\)](https://ru.bmstu.wiki/OpenGL_(Open_Graphics_Library))
10. Паттерны проектирования [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://tproger.ru/tag/design-patterns/>
11. Адаптер [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://metanit.com/sharp/patterns/4.2.php>
12. Заступик [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://metanit.com/sharp/patterns/4.5.php>

13. Стратегія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://metanit.com/sharp/patterns/3.1.php>
14. Патерн MVVM [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://professorweb.ru/my/WPF/documents\\_WPF/level36/36\\_5.php](https://professorweb.ru/my/WPF/documents_WPF/level36/36_5.php)
15. Принципи SOLID [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://medium.com/webbdev/solid-4ffc018077da>
16. SOLID принципи об'єктно-орієнтованого програмування [Електронний ресурс] – Режим доступу: – <https://web-creator.ru/articles/solid>
17. Fuzzy Logic Toolbox [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.exponenta.ru/fuzzy/index.html>
18. Введення до теорії нечітких множин. Пакет Matlab [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>