

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

В. С. Блінцов, А. П. Бурунін

ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ ТА САМОСТІЙНИХ РОБІТ

**З ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН»**

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2026

УДК 51(076)

Б69

Укладачі:

В. С. Блінцов, д-р техн. наук, професор;

А. П. Бурунін, PhD, доцент без вченого звання

Рецензент:

П. Є. Михаліченко, д-р техн. наук, професор кафедри автоматики та електроустаткування Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Рекомендовано Методичною радою НУК

Блінцов В. С.

Б69 Збірник задач для контрольних та самостійних робіт з дисципліни «Основи теорії нечітких множин» / В. С. Блінцов, А. П. Бурунін. – Миколаїв : НУК, 2026. – 45 с.

Наведено теоретичні відомості, практичні рекомендації, приклади розв'язання типових задач, а також завдання для самостійного опрацювання навчального матеріалу під час вивчення дисципліни «Основи теорії нечітких множин».

Призначено для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

УДК 51(076)

© В. С. Блінцов, А. П. Бурунін, 2026

© Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2026

ВСТУП

Збірник задач розроблений для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та призначений для забезпечення ефективної організації самостійної роботи під час вивчення дисципліни «Основи теорії нечітких множин». Вони містять теоретичні відомості, практичні рекомендації, приклади розв'язання типових задач, а також завдання для самостійного опрацювання навчального матеріалу.

Сучасний етап розвитку науки і техніки характеризується стрімким упровадженням цифрових технологій, штучного інтелекту, автоматизованих систем керування, робототехнічних комплексів та комп'ютерно-інтегрованих технологій у різні сфери людської діяльності. Підвищення складності технічних систем, зростання обсягів інформації та необхідність прийняття рішень в умовах невизначеності зумовлюють потребу у використанні нових підходів до аналізу, моделювання та керування складними процесами. Одним із таких підходів є теорія нечітких множин, яка забезпечує математичний апарат для роботи з неточною, неповною та суперечливою інформацією.

На відміну від класичної логіки та традиційних математичних моделей, що ґрунтуються на чітко визначених поняттях і межах, нечітка логіка дозволяє формалізувати знання, які описуються природною мовою та базуються на експертному досвіді людини. У реальних умовах більшість процесів і явищ неможливо охарактеризувати лише категоріями «так» або «ні», «істина» або «хиба». Часто використовуються поняття «висока температура», «низька швидкість», «значне відхилення»,

«достатній рівень ресурсу», які не мають чітко визначених меж. Саме для опису таких ситуацій застосовуються нечіткі множини та функції належності, що дозволяють кількісно оцінити ступінь належності об'єкта до певної категорії.

Теорія нечітких множин, запропонована Лотфі Заде у 1965 році, стала основою для створення нового класу інтелектуальних систем, здатних працювати в умовах невизначеності. Сьогодні нечіткі моделі та алгоритми широко використовуються в автоматизованих системах керування, робототехніці, електроенергетиці, транспортних системах, медичній діагностиці, фінансовому аналізі, системах підтримки прийняття рішень, комп'ютерному баченні та машинному навчанні. Важливою перевагою нечітких систем є можливість поєднання формальних математичних методів з експертними знаннями фахівців предметної галузі.

Для майбутніх магістрів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» особливого значення набуває здатність розробляти та застосовувати інтелектуальні методи керування складними технічними об'єктами. Сучасні автоматизовані системи функціонують у динамічному середовищі, де параметри об'єктів можуть змінюватися в широких межах, а інформація про їхній стан часто є неповною або неточною. У таких умовах традиційні алгоритми керування не завжди забезпечують необхідну якість функціонування систем. Натомість використання нечіткої логіки дозволяє підвищити адаптивність, стійкість і надійність систем керування, забезпечуючи прийняття ефективних рішень навіть за відсутності точних математичних моделей.

Вивчення дисципліни «Основи теорії нечітких множин» спрямоване на формування у здобувачів вищої освіти системи знань щодо основних понять нечіткої логіки, принципів побудови функцій належності, методів фазифікації та дефазифікації, операцій над нечіткими множинами, механізмів нечіткого виведення та особливостей побудови нечітких систем

керування. Значна увага приділяється практичному застосуванню отриманих знань під час розв'язання інженерних задач, пов'язаних із проєктуванням і дослідженням сучасних автоматизованих систем.

Метою методичних рекомендацій є надання здобувачам необхідної методичної підтримки для самостійного опрацювання навчального матеріалу, закріплення теоретичних знань та набуття практичних навичок використання методів нечіткої логіки в професійній діяльності. Самостійна робота є важливою складовою освітнього процесу, оскільки сприяє розвитку дослідницьких здібностей, критичного мислення, навичок аналізу та синтезу інформації, а також формує здатність до самостійного прийняття рішень.

У процесі вивчення дисципліни здобувачі повинні навчитися формалізувати експертні знання у вигляді нечітких правил, будувати бази знань нечітких систем, виконувати аналіз та моделювання складних технічних процесів, а також застосовувати сучасні програмні засоби для створення та дослідження нечітких моделей. Отримані компетентності є важливою складовою професійної підготовки магістрів і створюють основу для подальшого вивчення дисциплін, пов'язаних із штучним інтелектом, інтелектуальними системами керування, цифровою трансформацією виробництва та робототехнічними комплексами.

Структура методичних рекомендацій побудована відповідно до логіки вивчення дисципліни та охоплює основні теоретичні положення, приклади їх практичного застосування, контрольні запитання та завдання для самостійної роботи. Виконання запропонованих завдань сприятиме формуванню системного підходу до аналізу складних об'єктів і процесів, розвитку навичок використання сучасних інтелектуальних технологій та підготовці висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно вирішувати актуальні наукові та прикладні задачі в галузі автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки.

1. ЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН У СУЧАСНІЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Теорія нечітких множин як складова сучасних інтелектуальних технологій

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, автоматизації виробництва, робототехнічних систем та штучного інтелекту зумовлює необхідність створення нових підходів до оброблення інформації та прийняття рішень. На відміну від класичних математичних методів, які передбачають використання точних числових даних та формалізованих моделей, сучасні технічні системи все частіше функціонують в умовах невизначеності, неповноти інформації та впливу випадкових факторів.

У більшості практичних задач автоматизації неможливо отримати абсолютно точні дані про стан об'єкта керування або навколишнього середовища. Крім того, значна частина знань про процеси керування формується на основі досвіду експертів і часто описується якісними поняттями, які важко формалізувати за допомогою традиційних математичних моделей. Саме тому одним із найважливіших напрямів розвитку сучасних інтелектуальних технологій стала теорія нечітких множин.

Теорія нечітких множин була запропонована американським ученим Лотфі Заде у 1965 році та стала основою для створення нечіткої логіки, нечітких систем керування та багатьох сучасних інтелектуальних технологій. Її головна особливість полягає у використанні поняття ступеня належності елемента

до множини, що дозволяє описувати об'єкти та процеси не лише категоріями «належить» або «не належить», а й враховувати проміжні стани.

Завдяки такому підходу стає можливим математичне подання лінгвістичних понять, які широко використовуються людиною під час прийняття рішень: «низька температура», «висока швидкість», «значний ризик», «добрий стан обладнання», «мале відхилення» тощо. Це дозволяє наблизити процес автоматичного керування до механізмів людського мислення та експертного аналізу.

1.2. Значення нечіткої логіки для спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» теорія нечітких множин є одним із фундаментальних інструментів побудови сучасних інтелектуальних систем.

Професійна діяльність фахівців цієї спеціальності пов'язана з розробленням автоматизованих систем керування, робототехнічних комплексів, цифрових виробництв, систем технічної діагностики, інтелектуальних транспортних систем та програмно-апаратних комплексів підтримки прийняття рішень. Для таких систем характерною є наявність великої кількості невизначених параметрів, складних взаємозв'язків між компонентами та необхідність функціонування в режимі реального часу.

У цих умовах застосування нечіткої логіки дозволяє:

- формалізувати експертні знання;
- працювати з неточними та неповними даними;
- реалізовувати адаптивне керування;

- підвищувати надійність функціонування технічних систем;
- забезпечувати підтримку прийняття рішень в умовах невизначеності;
- підвищувати ефективність роботи автоматизованих комплексів.

Вивчення теорії нечітких множин формує у майбутніх магістрів сучасне уявлення про інтелектуальні методи керування та створює основу для подальшого опанування дисциплін, пов'язаних із штучним інтелектом, машинним навчанням та робототехнікою.

1.3. Використання нечітких множин в автоматизованих системах керування

Однією з найважливіших сфер застосування теорії нечітких множин є автоматизовані системи керування. У багатьох технологічних процесах параметри об'єкта можуть змінюватися під впливом зовнішнього середовища або внутрішніх факторів. У таких випадках використання традиційних алгоритмів керування може призводити до зниження ефективності системи.

Нечіткі регулятори дозволяють враховувати експертні знання про процес керування та забезпечують ефективну роботу навіть за відсутності точної математичної моделі об'єкта. Основою їх функціонування є база нечітких правил, яка формується на основі досвіду фахівців та експертів предметної галузі.

Сучасні нечіткі системи керування застосовуються:

- у виробничих технологічних процесах;
- у системах кліматичного контролю;
- в енергетичних комплексах;

- у транспортних системах;
- в автономних робототехнічних комплексах;
- у системах управління якістю продукції.

Використання нечітких регуляторів дозволяє підвищити стійкість систем керування до зовнішніх збурень та забезпечити більш плавне і точне керування складними процесами.

1.4. Роль нечіткої логіки в робототехніці та автономних системах

Особливого значення методи нечіткої логіки набули в робототехніці. Сучасні роботи повинні працювати в умовах постійної зміни навколишнього середовища та приймати рішення на основі даних, які можуть бути неточними або неповними.

До таких систем належать:

- автономні мобільні роботи;
- безпілотні літальні апарати;
- автономні транспортні засоби;
- сервісні роботи;
- промислові маніпулятори;
- колаборативні роботи.

Під час функціонування таких систем виникає необхідність аналізу інформації від численних датчиків, камер, лідарів та інших сенсорних пристроїв. Через наявність шумів і похибок дані можуть бути суперечливими або неповними. Використання нечіткої логіки дозволяє формувати адекватні керувальні впливи навіть у складних ситуаціях, коли класичні алгоритми виявляються недостатньо ефективними.

Особливо широко нечіткі алгоритми використовуються для навігації роботів, уникнення перешкод, планування маршрутів, розпізнавання ситуацій та прийняття рішень у режимі реального часу.

1.5. Нечіткі технології в системах підтримки прийняття рішень

Важливим напрямом застосування теорії нечітких множин є створення систем підтримки прийняття рішень. Такі системи використовуються для аналізу складних ситуацій, прогнозування наслідків управлінських рішень та вибору оптимальних варіантів дій.

На практиці під час прийняття рішень часто доводиться враховувати як кількісні показники, так і якісні характеристики. Наприклад, оцінювання технічного стану обладнання може ґрунтуватися не лише на результатах вимірювань, а й на експертних висновках фахівців.

Нечіткі моделі дозволяють поєднувати різні джерела інформації та враховувати суб'єктивні оцінки експертів, що значно підвищує якість прийнятих рішень.

1.6. Інтеграція нечіткої логіки з сучасними технологіями штучного інтелекту

Сучасний розвиток штучного інтелекту значною мірою пов'язаний із поєднанням різних інтелектуальних технологій. Одним із найбільш перспективних напрямів є інтеграція нечіткої логіки з нейронними мережами, генетичними алгоритмами та методами машинного навчання.

У результаті такого поєднання створюються гібридні інтелектуальні системи, які поєднують здатність до навчання з можливістю інтерпретації отриманих результатів. Це дозволяє не лише формувати високоточні прогнози, а й пояснювати логіку прийняття рішень, що є важливою вимогою до сучасних систем штучного інтелекту.

Подібні технології активно використовуються в задачах:

- прогнозування та аналізу даних;
- комп'ютерного зору;

- розпізнавання образів;
- автономного керування;
- технічної діагностики;
- інтелектуальної автоматизації виробництва.

1.7. Значення нечітких множин у концепціях Індустрії 4.0 та кіберфізичних систем

Сучасні виробничі комплекси дедалі частіше будуються відповідно до концепцій Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0. Їх основою є використання кіберфізичних систем, Інтернету речей, цифрових двійників та технологій штучного інтелекту.

У таких системах необхідно здійснювати оброблення великих потоків інформації від розподілених сенсорних мереж, аналізувати стан обладнання та приймати рішення в режимі реального часу. Нечітка логіка дозволяє ефективно працювати з невизначеними даними та забезпечує адаптивність складних технічних систем.

Завдяки цьому нечіткі технології є важливим інструментом створення інтелектуальних виробничих комплексів нового покоління.

Теорія нечітких множин є одним із фундаментальних напрямів сучасного штучного інтелекту та важливою складовою інтелектуальних систем автоматизації. Її використання дозволяє формалізувати експертні знання, працювати з невизначеною інформацією та реалізовувати ефективні механізми прийняття рішень у складних динамічних середовищах.

Для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» вивчення теорії нечітких множин створює теоретичне підґрунтя для розроблення сучасних інтелектуальних систем керування, робототехнічних комплексів, кіберфізичних систем та технологій штучного інтелекту, що визначають розвиток автоматизації майбутнього.

2. АКТУАЛЬНІСТЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ САК ДЛЯ МОРСЬКИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1. Роль інтелектуальних систем керування в сучасних технологіях

Сучасний розвиток науки і техніки супроводжується активним впровадженням цифрових технологій, робототехнічних комплексів, систем штучного інтелекту та автоматизованих виробничих процесів. В умовах цифрової трансформації суспільства особливого значення набувають інтелектуальні системи автоматичного керування (САК), здатні забезпечувати ефективне функціонування складних технічних об'єктів за умов невизначеності, неповноти інформації та динамічної зміни параметрів середовища.

Традиційні методи автоматичного керування ґрунтуються на використанні математичних моделей об'єктів та класичних регуляторів. Проте сучасні технічні системи характеризуються високою складністю, нелінійністю та значною кількістю зовнішніх факторів, які важко або неможливо врахувати в межах класичних підходів. Саме тому дедалі ширшого застосування набувають інтелектуальні методи керування, що базуються на технологіях штучного інтелекту, машинного навчання, нейронних мереж та нечіткої логіки.

Інтелектуальні системи керування дозволяють виконувати аналіз поточного стану об'єкта, прогнозувати розвиток ситуації, адаптувати параметри керування та формувати оптимальні рішення без постійного втручання людини-оператора. Їх використання сприяє підвищенню ефективності функціонування

технічних систем, зменшенню енергетичних витрат, покращенню якості продукції та підвищенню рівня безпеки виробничих процесів.

Для спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» інтелектуальні системи автоматичного керування є однією з ключових складових професійної діяльності майбутнього фахівця. Вони використовуються під час створення сучасних автоматизованих виробничих комплексів, робототехнічних систем, автономних транспортних засобів, систем технічного моніторингу, кіберфізичних систем та цифрових платформ управління.

2.2. Невизначеність як основна проблема сучасних систем керування

У більшості практичних задач автоматизації виникають ситуації, коли інформація про об'єкт керування є неповною або неточною. Причинами цього можуть бути:

- похибки вимірювальних приладів;
- зовнішні збурення;
- зміна параметрів об'єкта в процесі роботи;
- вплив людського фактора;
- неповнота статистичних даних;
- неможливість побудови точної математичної моделі.

Наприклад, під час функціонування автономного мобільного робота датчики можуть фіксувати зашумлену інформацію про навколишнє середовище. Аналогічні проблеми виникають у системах технічної діагностики, де необхідно оцінювати стан обладнання за непрямими ознаками несправностей. У таких випадках використання традиційних методів оброблення інформації часто не забезпечує необхідної точності та надійності.

Для розв'язання подібних задач використовуються методи штучного інтелекту, серед яких особливе місце займає нечітка логіка. На відміну від класичних підходів, вона дозволяє працювати з неточними та лінгвістичними даними, використовуючи поняття ступеня належності та нечітких правил прийняття рішень.

2.3. Використання нечіткої логіки в автоматизованих системах

Одним із найефективніших інструментів побудови інтелектуальних САК є теорія нечітких множин. Її застосування дозволяє враховувати досвід експертів та використовувати лінгвістичні описи процесів замість складних математичних моделей.

Основою нечіткого керування є база знань, яка містить набір правил виду:

ЯКЩО умова, ТО дія.

Наприклад:

- ЯКЩО температура висока І швидкість обертання велика, ТО зменшити навантаження;
- ЯКЩО відстань до перешкоди мала, ТО зменшити швидкість руху робота;
- ЯКЩО рівень ризику високий, ТО активувати аварійний режим.

Завдяки використанню таких правил система може приймати рішення подібно до людини-експерта, що особливо важливо в умовах невизначеності.

Нечіткі регулятори успішно застосовуються в системах автоматичного керування технологічними процесами, робототехнічних комплексах, транспортних системах, енергетичних установках та інтелектуальних виробничих лініях.

2.4. Інтелектуальні системи в робототехніці

Робототехніка є однією з найдинамічніших сфер застосування інтелектуальних методів керування. Сучасні роботи повинні працювати в середовищах, які неможливо повністю описати заздалегідь.

До таких систем належать:

- мобільні роботи;
- промислові маніпулятори;
- безпілотні літальні апарати;
- автономні транспортні засоби;
- сервісні роботи;
- колаборативні роботи (cobots).

Під час виконання завдань роботи отримують інформацію від численних сенсорів, камер, лідарів та інших пристроїв. Через наявність шумів і похибок дані можуть бути неточними або суперечливими. Використання нечіткої логіки дозволяє формувати адекватні керувальні впливи навіть за відсутності повної інформації.

Особливо ефективними є нечіткі системи навігації, уникнення перешкод, планування траєкторій та керування рухом автономних роботів.

2.5. Кіберфізичні системи та Індустрія 4.0

Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасних технологій є створення кіберфізичних систем, які поєднують фізичні об'єкти з інформаційними технологіями та засобами автоматизації.

До складу таких систем входять:

- датчики та сенсорні мережі;
- виконавчі механізми;

- контролери;
- хмарні обчислювальні платформи;
- системи аналізу даних;
- засоби штучного інтелекту.

Кіберфізичні системи лежать в основі концепції Індустрії 4.0, яка передбачає створення «розумних» виробництв із високим рівнем автономності та самостійного прийняття рішень.

У таких системах необхідно обробляти великі потоки інформації в режимі реального часу. Нечітка логіка дозволяє підвищити якість прийняття рішень за умов неповноти даних та забезпечити адаптацію виробничих процесів до зміни зовнішніх умов.

2.6. Поєднання нечіткої логіки з методами штучного інтелекту

Сучасні інтелектуальні системи дедалі частіше будуються на основі поєднання декількох підходів штучного інтелекту. Найбільшого поширення набули:

- нейро-нечіткі системи;
- нечіткі експертні системи;
- генетично-нечіткі алгоритми;
- адаптивні нечіткі системи керування;
- системи машинного навчання з нечітким виведенням.

Поєднання нечіткої логіки з нейронними мережами дозволяє створювати системи, які здатні навчатися на основі даних та водночас забезпечувати пояснюваність прийнятих рішень. Це особливо важливо для сучасних систем підтримки прийняття рішень та відповідального штучного інтелекту.

Інтелектуальні системи автоматичного керування є невід’ємною складовою сучасної автоматизації, робототехніки та комп’ютерно-інтегрованих технологій. Їх використання забезпечує можливість ефективного функціонування складних

технічних систем в умовах невизначеності, неповноти інформації та постійної зміни параметрів зовнішнього середовища.

Теорія нечітких множин і нечітка логіка є одними з базових інструментів побудови таких систем. Вони забезпечують формалізацію експертних знань, підтримують прийняття рішень в умовах невизначеності та створюють основу для інтеграції з сучасними технологіями штучного інтелекту. Для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G7 оволодіння методами нечіткої логіки є важливою складовою професійної підготовки та необхідною умовою успішної діяльності у сфері автоматизації, робототехніки та інтелектуальних інформаційних систем.

3. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ (СРС)

3.1. Роль самостійної роботи в освітньому процесі

Самостійна робота студентів є невід'ємною складовою освітнього процесу підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти. Вона спрямована на поглиблення та систематизацію знань, отриманих під час аудиторних занять, розвиток навичок самостійного аналізу наукової інформації, формування дослідницьких компетентностей та здатності до вирішення складних спеціалізованих задач у професійній діяльності.

В умовах швидкого розвитку інформаційних технологій, автоматизації, робототехніки та штучного інтелекту особливого значення набуває здатність майбутнього фахівця до безперервного професійного саморозвитку та самонавчання. Самостійна робота дозволяє сформувати навички критичного мислення, роботи з науковими джерелами, аналізу сучасних технологій та застосування отриманих знань для розв'язання практичних інженерних задач.

Для магістрів спеціальності G7 самостійна робота є важливим етапом формування професійних компетентностей у сфері автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій, робототехніки та інтелектуальних систем керування. Вона забезпечує перехід від засвоєння теоретичних знань до їх практичного використання під час розроблення сучасних програмно-апаратних комплексів та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

3.2. Мета самостійної роботи з дисципліни

Метою самостійної роботи студентів під час вивчення дисципліни «Основи теорії нечітких множин» є формування системи теоретичних знань і практичних навичок щодо застосування методів нечіткої логіки та інтелектуального аналізу даних для розв'язання складних задач автоматизації, робототехніки та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Самостійна робота спрямована на поглиблене вивчення фундаментальних положень теорії нечітких множин, оволодіння методами побудови нечітких моделей і систем керування, а також набуття практичного досвіду використання сучасних програмних засобів для моделювання інтелектуальних систем.

Важливою метою дисципліни є формування у здобувачів здатності застосовувати методи нечіткої логіки для аналізу складних технічних об'єктів, прийняття рішень в умовах невизначеності та побудови адаптивних систем керування нового покоління.

3.3. Основні завдання самостійної роботи

Для досягнення поставленої мети здобувачі вищої освіти повинні виконати комплекс теоретичних, аналітичних та практичних завдань.

У процесі самостійної роботи студент повинен:

Теоретична підготовка

1. Опанувати основні поняття та принципи теорії нечітких множин і нечіткої логіки.
2. Засвоїти математичний апарат опису нечітких множин, функцій належності та лінгвістичних змінних.
3. Вивчити основні операції над нечіткими множинами та методи їх практичного застосування.
4. Ознайомитися з принципами нечіткого виведення, фазифікації та дефазифікації даних.

5. Дослідити сучасні напрями розвитку інтелектуальних систем керування та роль нечіткої логіки в технологіях штучного інтелекту.

Аналітична підготовка

6. Навчитися формалізувати експертні знання у вигляді нечітких правил та баз знань.

7. Виконувати аналіз складних технічних процесів в умовах невизначеності та неповноти інформації.

8. Будувати математичні моделі нечітких систем та оцінювати їх ефективність.

9. Аналізувати результати функціонування нечітких систем керування та здійснювати їх оптимізацію.

10. Використовувати сучасні методи інтелектуального аналізу даних для вирішення прикладних задач автоматизації.

Практична підготовка

11. Розробляти нечіткі моделі для технічних і технологічних об'єктів.

12. Використовувати програмні засоби MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, Simulink та інші середовища моделювання для створення нечітких систем.

13. Створювати бази нечітких правил для систем підтримки прийняття рішень та автоматичного керування.

14. Моделювати роботу нечітких регуляторів для різних технічних об'єктів.

15. Виконувати порівняльний аналіз традиційних та інтелектуальних методів керування.

16. Реалізовувати елементи нечіткого керування в задачах робототехніки та автоматизації виробничих процесів.

3.4. Формування професійних компетентностей

Виконання завдань самостійної роботи сприяє формуванню у здобувачів таких професійних компетентностей:

- здатності застосовувати сучасні методи штучного інтелекту для вирішення інженерних задач;
- здатності розробляти та досліджувати інтелектуальні системи керування;
- здатності працювати з невизначеними та неповними даними;
- здатності моделювати складні технічні системи;
- здатності використовувати сучасні програмні засоби автоматизації;
- здатності здійснювати науковий аналіз та інтерпретацію результатів досліджень;
- здатності приймати обґрунтовані рішення в умовах ризику та невизначеності.

Особлива увага приділяється розвитку навичок системного мислення, самостійного пошуку інформації, роботи з науковими джерелами та сучасними інформаційними ресурсами.

3.5. Очікувані результати навчання

У результаті виконання самостійної роботи студент повинен:

знати:

- основні положення теорії нечітких множин;
- принципи побудови нечітких систем керування;
- методи нечіткого логічного виведення;
- сучасні напрями застосування нечіткої логіки в автоматизації та робототехніці;

уміти:

- формувати нечіткі моделі технічних систем;
- будувати функції належності та лінгвістичні змінні;
- створювати бази нечітких правил;
- використовувати програмні засоби моделювання нечітких систем;

- аналізувати та інтерпретувати результати роботи інтелектуальних систем керування;
- застосовувати методи нечіткої логіки для розв'язання практичних задач автоматизації та робототехніки.

Самостійна робота є важливою складовою підготовки магістрів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Вона спрямована на формування сучасного рівня професійної підготовки, розвиток навичок дослідницької діяльності та оволодіння інструментами побудови інтелектуальних систем керування. Отримані знання та практичні навички створюють основу для подальшого використання методів нечіткої логіки, штучного інтелекту та машинного навчання під час розроблення сучасних автоматизованих і робототехнічних систем.

МОДУЛЬ 1. Теоретичні основи нечіткої логіки та нечіткого числення

Тема 1.1. Поняття нечіткої множини та функції належності

1.1.1. Теоретична частина

Чіткі та нечіткі множини

В основі класичної математики лежить поняття **чіткої множини** (Cantor set), де кожен елемент універсальної множини U або належить, або не належить до деякої множини A . Це описується характеристичною функцією $\chi_A(x)$, яка приймає лише два значення:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \in A \\ 0, & \text{якщо } x \notin A \end{cases}$$

Проте під час керування морськими рухомими об'єктами (МРО) оператор часто оперує якісними категоріями, що не мають чітких меж (наприклад, «помірне хвилювання моря», «висока швидкість судна»).

Американський математик азербайджанського походження Лотфі Заде у 1965 році запропонував концепцію **нечіткої множини** (Fuzzy set), яка дозволяє елементу мати частковий ступінь належності до множини.

Нечітка множина A на універсальній множині U визначається як сукупність упорядкованих пар:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$$

де $\mu_A(x) \in [0, 1]$ – **функція належності**, яка кожному елементу x ставить у відповідність число з інтервалу $[0, 1]$, що визначає ступінь його належності до нечіткої множини A .

Носій нечіткої множини

Носієм нечіткої множини A (позначається як $\text{supp}(A)$) називається чітка підмножина універсального простору U , для елементів якої функція належності є строго більшою за нуль:

$$\text{supp}(A) = \{x \in U \mid \mu_A(x) > 0\}$$

Графічне подання та типи функцій належності

Форма функції належності обирається розробником системи керування на основі експертних оцінок або експериментальних даних. У системах автоматизації МРО найчастіше використовуються такі типи:

1. Трикутна функція належності (trimf): Визначається трьома параметрами (a, b, c) , де a і c – основи трикутника (значення нульової належності), а b – його вершина (значення повної належності, тобто $\mu = 1$):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

2. Трапецієподібна функція належності (trapmf):

Визначається чотирма параметрами (a, b, c, d). Вона зручна для опису плато інтервалів, де характеристика залишається стабільно максимальною:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$$

3. Гаусова (дзвоноподібна) функція належності (gaussmf): Описується гладкою кривою за допомогою двох параметрів – координати центра симетрії c та середньоквадратичного відхилення σ (визначає ширину «дзвона»):

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

Вона є диференційованою на всьому носії, що критично важливо для аналітичного синтезу та градієнтних методів оптимізації нечітких систем.

1.1.2. Завдання для СРС: Опис лінгвістичних змінних для морського об'єкта

Студентам необхідно самостійно виконати формалізацію лінгвістичних змінних відповідно до свого варіанта завдання. Опис має містити:

1. Визначення найменування лінгвістичної змінної (X).
2. Визначення базової універсальної множини (U) з фізичними одиницями виміру.
3. Формування терм-множини $T(X)$ (не менше 3–5 термів).
4. Обґрунтування вибору типу функцій належності та аналітичний опис їхніх параметрів.

Варіанти об'єктів та змінних (за вибором/призначенням викладача):

- *Варіант 1:* Швидкість ходу автономного підводного апарата (АНПА).
- *Варіант 2:* Висота вітрової хвилі (для САК динамічного позиціонування).
- *Варіант 3:* Кутова швидкість повороту судна (швидкість циркуляції).
- *Варіант 4:* Запас заряду акумуляторної батареї ТНПА.

1.1.3. Приклад: Формування лінгвістичної змінної «Помилка курсу судна»

При синтезі нечіткого авторульового (курсказівника) базовою вхідною величиною є помилка курсу e , що обчислюється як різниця між заданим курсом ψ_{set} та поточним курсом судна ψ :

$$e = \psi_{\text{set}} - \psi.$$

Нехай універсальна множина визначення помилки курсу обмежена діапазоном $U = [-180^\circ, 180^\circ]$.

Формуємо лінгвістичну змінну $X =$ «Помилка курсу судна» з терм-множиною:

$T(\text{Помилка курсу}) = \{\text{“ВЛ”}, \text{“МЛ”}, \text{“Н”}, \text{“МП”}, \text{“ВП”}\};$

де аббревіатури розшифровуються як:

ВЛ – «Велика ліва помилка» (судно значно відхилилося вправо від заданого курсу);

МЛ – «Мала ліва помилка»;

Н – «Норма (Нуль)» (судно йде точно за заданим курсом);

МП – «Мала права помилка»;

ВП – «Велика права помилка» (судно значно відхилилося вліво).

Побудова функцій належності

Для інженерних розрахунків у контурах стабілізації курсу доцільно використовувати комбінацію трапецієподібних (для

крайових термів «ВЛ» та «ВП») та трикутних функцій належності (для проміжних термів).

Встановимо характерні межі помилок у градусах для умовного судна:

якщо помилка в межах $[-2^\circ, 2^\circ]$, то це «Норма»;

максимальне регулювання (максимальний кут перекладки керма) має досягатися, якщо помилка перевищує за модулем 25° .

Задаємо параметри функцій належності аналітично:

1. Норма (Н): трикутна функція $\text{trimf}(-5, 0, 5)$

$$\mu_H(e) = \begin{cases} \frac{e+5}{5}, & -5 \leq e \leq 0 \\ \frac{5-e}{5}, & 0 < e \leq 5 \\ 0, & |e| > 5 \end{cases}$$

2. Мала ліва (МЛ): трикутна функція $\text{trimf}(-25, -10, 0)$.

3. Мала права (МП): трикутна функція $\text{trimf}(0, 10, 25)$.

4. Велика ліва (ВЛ): ліва трапецієподібна функція $\text{trapmf}(-180, -180, -25, -10)$.

$$\mu_{ВЛ}(e) = \begin{cases} 1, & -180 \leq e \leq -25 \\ \frac{-10-e}{15}, & -25 < e < -10 \\ 0, & e \geq -10 \end{cases}$$

5. Велика права (ВП): права трапецієподібна функція $\text{trapmf}(10, 25, 180, 180)$.

Графічний розподіл функцій належності лінгвістичної змінної помилки курсу матиме симетричний вигляд відносно координати $e = 0$, що забезпечує адекватну та збалансовану реакцію рульового електроприводу судна при відхиленнях у будь-яку сторону.

Тема 1.2. Операції над нечіткими множинами

1.2.1. Теоретична частина

У класичній теорії множин операції заперечення, перетину та об'єднання мають жорсткі межі (двійкова логіка: 0 або 1). У теорії нечітких множин ці операції узагальнені для неперервного інтервалу $[0, 1]$ і реалізуються за допомогою спеціальних математичних функцій.

Нечітке заперечення (Операція «НЕ»)

Заперечення нечіткої множини A (позначається як $\bar{A}$ або $\neg A$) відображає ступінь неналежності елемента до цієї множини. Стандартне заперечення за Л. Заде обчислюється як:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x).$$

Нечіткий перетин (Операція «І», t -норми)

Перетин двох нечітких множин A та B визначає їхню спільну частину. Математично операція перетину реалізується за допомогою класу функцій, які називаються **трикутними нормами (t -нормами)**. Найбільш уживаними в інженерній практиці є:

1. Мінімум (t -норма Заде): Використовує операцію взяття мінімуму з двох значень.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

2. Алгебраїчний добуток (імовірнісна t -норма): Відображає плавне взаємозалежне згасання кривих.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x).$$

Нечітке об'єднання (Операція «АБО», s -норми / t -конорми)

Об'єднання нечітких множин A та B поєднує їхні властивості. Ця операція реалізується за допомогою **t -конорм (s -норм)**. Найпопулярніші варіанти:

1. Максимум (s -норма Заде): Обирає найбільше значення ступеня належності.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

2. Алгебраїчна сума: Враховує внесок обох множин одночасно, запобігаючи втраті інформації на краях перекриття.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x),$$

1.2.2. Завдання для СРС: Виконання аналітичних та графічних операцій

Студентам необхідно виконати розрахунково-графічну роботу відповідно до виданого варіанта. Завдання включає:

1. Побудову графіків функцій належності для двох заданих нечітких станів МРО на одній системі координат.

2. Аналітичне обчислення результуючих ступенів належності для 5 фіксованих точок контрольного діапазону за допомогою двох типів операцій (мінімум/максимум та алгебраїчні добуток/сума).

3. Графічну побудову результуючих нечітких множин («НЕ А», «А і В», «А АБО В»).

Варіанти завдань:

Варіант 1: Множини А = «Помірний вітер» та В = «Висока хвиля» (Оцінка погодних умов для системи динамічного позиціонування).

Варіант 2: Множини А = «Критичний диферент підводного апарата» та В = «Велика кутова швидкість занурення».

Варіант 3: Множини А = «Висока температура обмоток гребного електродвигуна» та В = «Струм перевантаження».

1.2.3. Приклад: Розрахунок режиму роботи двигуна підводного апарата (ПА)

Умова задачі:

Під час автономної місії ПА виконує дефектоскопію підводного трубопроводу. На борту функціонує нечітка система моніторингу працездатності пропульсивної (рушійної) установки. Необхідно оцінити ступінь належності поточного стану

системи до нечіткої аварійної категорії **C = «Високе навантаження двигуна АБО Низький рівень заряду АКБ»**.

Нехай у поточний момент часу бортові сенсори зафіксували такі параметри:

Споживаний струм гребного електроприводу: $I = 42$ А;

Поточна ємність акумуляторної батареї: $Q = 28$ %.

Експертно встановлені функції належності для відповідних базових змінних мають такий вигляд:

1. Нечітка множина А («Високе навантаження двигуна») на інтервалі струмів $[0, 60\text{А}]$ задана трикутною функцією $\text{trimf}(30, 50, 60)$:

$$\mu_A(I) = \begin{cases} 0, & I \leq 30 \\ \frac{I-30}{50-30}, & 30 < I \leq 50 \\ \frac{60-I}{60-50}, & 50 < I < 60 \\ 0, & I \geq 60 \end{cases}.$$

2. Нечітка множина В («Низький рівень заряду АКБ») на інтервалі ємності $[0\%, 100\%]$ задана трапецієподібною функцією $\text{trapmf}(0, 0, 20, 40)$:

$$\mu_B(Q) = \begin{cases} 1, & 0 \leq Q \leq 20 \\ \frac{40-Q}{40-20}, & 20 < Q < 40 \\ 0, & Q \geq 40 \end{cases}.$$

Розв'язання:

Крок 1. Фазифікація вхідних даних (обчислення індивідуальних ступенів належності).

Для струму $I = 42$ А:

$$\mu_A(42) = \frac{42 - 30}{50 - 30} = \frac{12}{20} = 0.6.$$

Для заряду АКБ $Q = 28$ %:

$$\mu_B(28) = \frac{40 - 28}{40 - 20} = \frac{12}{20} = 0.65 .$$

Крок 2. Реалізація логічної операції «АБО» (Об'єднання множин).

Виконаємо розрахунок двома інженерними методами для порівняння:

Метод А (за Заде – оператор $\max$):

$$\mu_C(x) = \max(\mu_A(42), \mu_B(28)) = \max(0.6, 0.65) = 0.65.$$

Метод Б (алгебраїчна сума):

$$\mu_C(x) = \mu_A(42) + \mu_B(28) - \mu_A(42) \cdot \mu_B(28);$$

$$\mu_C(x) = 0.6 + 0.65 - (0.6 \cdot 0.65) = 1.25 - 0.39 = 0.86.$$

Висновок. Використання оператора $\max$ (Метод А) враховує лише один найгірший фактор (у даному випадку – низький заряд батареї, $\mu = 0.65$). Алгебраїчна сума (Метод Б) синергетично накопичує негативні тенденції обох параметрів, видаючи вищий фінальний рівень тривоги ($\mu = 0.86$). Це змусить САК підводного апарата раніше активувати алгоритм енергозбереження або аварійного спливання, що суттєво підвищує живучість технічного об'єкта.

Тема 1.3. Нечіткі відношення

та композиційне правило виведення

1.3.1. Теоретична частина

Поняття нечіткого відношення

У класичній математиці декартовий (прямий) добуток двох чітких множин $U \times V$ є множиною всіх можливих упорядкованих пар (u, v) , де $u \in U$, $v \in V$. Чітке відношення фіксує лише наявність або відсутність зв'язку між елементами.

Нечітке відношення R між універсальними множинами U та V – це нечітка підмножина декартового добутку $U \times V$,

яка характеризується двовимірною функцією належності $\mu_R(u, v) \in [0, 1]$.

Значення $\mu_R(u, v)$ визначає ступінь сили зв'язку або взаємозалежності між елементами u та v . Якщо множини U та V є скінченними, нечітке відношення зручно подавати у вигляді матриці нечіткого відношення.

Композиційне правило виведення (Zadeh's Compositional Rule)

Композиційне правило виведення є математичним фундаментом для отримання нових суджень у нечітких системах. Якщо відомо нечітке відношення R між змінними u та v (наприклад, причинно-наслідковий зв'язок «вхід $\rightarrow$ вихід»), і на вхід системи надходить нове нечітке значення A' (змінна u), то нечітке значення виходу B' (змінна v) обчислюється за допомогою операції композиції:

$$B' = A' \circ R.$$

В інженерній практиці для обчислення нечіткої композиції найчастіше застосовують два алгоритми:

1. Максимінна композиція (Max-Min / Zadeh composition):

Функція належності виходу обчислюється за формулою:

$$\mu_{B'}(v) = \max_{u \in U} \{ \min (\mu_{A'}(u), \mu_R(u, v)) \}$$

Цей метод діє за принципом пошуку «найвужчого місця» (мінімуму) в кожному ланцюжку зв'язків з наступним вибором найбільш оптимістичного варіанта (максимуму).

2. Макс-добуткова композиція (Max-Product composition):

Замість операції мінімуму використовується алгебраїчний добуток параметрів:

$$\mu_{B'}(v) = \max_{u \in U} \{ \mu_{A'}(u) \cdot \mu_R(u, v) \}$$

Такий підхід забезпечує гладкішу зміну вихідного сигналу регулятора, оскільки пропорційно масштабує відношення залежно від сили вхідного сигналу.

1.3.2. Завдання для СРС: Моделювання причинно-наслідкових зв'язків у суднових системах

Студентам необхідно виконати наступний комплекс самостійних розрахунків:

1. На основі інженерного опису взаємодії елементів суднової системи скласти матрицю нечіткого відношення R .
2. Задати нечіткий вхідний стан системи A' у вигляді вектора-рядка функцій належності.
3. Виконати аналітичний розрахунок вихідного стану B' двома методами: максимінної та макс-добуткової композиції.
4. Побудувати графіки отриманих нечітких множин виходу та порівняти результати.

Варіанти динамічних процесів для моделювання:

- *Варіант 1:* Вплив кута перекладки руля на кутову швидкість повороту судна з урахуванням гідродинамічного запізнення.
- *Варіант 2:* Залежність температури підшипників гребного вала від частоти обертів головного електродвигуна в умовах льодового навантаження.
- *Варіант 3:* Вплив швидкості занурення ПА на гідростатичний тиск та деформацію міцного корпусу.

1.3.3. Приклад: Оцінка амплітуди кільової хитавиці судна

Умова задачі:

Судно постачання виконує операцію передачі вантажу на бурову платформу. Для безпеки робіт САК повинна оцінювати інтенсивність кільової хитавиці (pitch).

Нехай вхідний фактор – «**Інтенсивність штормових умов**» (агрегована величина, що поєднує висоту хвилі та зустрічний

вітер), визначена на дискретній множині $U = \{u_1, u_2, u_3\}$ (де u_1 – слабкий шторм, u_2 – помірний, u_3 – сильний).

Вихідний фактор – «Амплітуда кільової хитавиці судна», визначена на дискретній множині $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ (де v_1 – безпечна хитавиця, v_2 – гранична, v_3 – аварійна).

Досвідчений капітан сформував матрицю нечіткого відношення R , яка описує зв'язок між штормом і хитавицею:

$$R = \begin{pmatrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ u_1 & 0.9 & 0.3 & 0.0 \\ u_2 & 0.4 & 0.8 & 0.3 \\ u_3 & 0.1 & 0.5 & 0.9 \end{pmatrix}$$

Поточні погодні умови різко погіршилися і бортова метеостанція передала нечітку оцінку нового стану шторму:

$$A' = (0.2 \quad 0.7 \quad 0.5)$$

(тобто погода найближче відповідає помірному шторму із ступенем 0.7, але має ознаки переходу до сильного із ступенем 0.5).

Необхідно визначити нечіткий прогноз амплітуди кільової хитавиці B' за допомогою **максимінної композиції**.

Розв'язання:

Застосуємо правило $B' = A' \circ R$:

$$\mu_{B'}(v_j) = \max_i [\min(\mu_{A'}(u_i), \mu_R(u_i, v_j))]$$

1. Обчислюємо ступінь належності для виходу v_1 (безпечна хитавиця):

$$\mu_{B'}(v_1) = \max [\min(0.2, 0.9), \min(0.7, 0.4), \min(0.5, 0.1)]$$

$$\mu_{B'}(v_1) = \max [0.2, 0.4, 0.1] = 0.4$$

2. Обчислюємо ступінь належності для виходу v_2 (гранична хитавиця):

$$\mu_{B'}(v_2) = \max [\min(0.2, 0.3), \min(0.7, 0.8), \min(0.5, 0.5)]$$

$$\mu_{B'}(v_2) = \max [0.2, 0.7, 0.5] = 0.7.$$

3. Обчислюємо ступінь належності для виходу v_3 (аварійна хитавиця):

$$\mu_{B'}(v_3) = \max [\min(0.2, 0.0), \min(0.7, 0.3), \min(0.5, 0.9)]$$

$$\mu_{B'}(v_3) = \max [0.0, 0.3, 0.5] = 0.5.$$

Отримуємо фінальний нечіткий вектор прогнозу хитавиці:

$$B' = (0.4 \ 0.7 \ 0.5)$$

Висновок. Отриманий вектор показує, що з найбільшою впевненістю ($\mu = 0.7$) амплітуда кільової хитавиці досягне граничних значень. Водночас існує суттєва небезпека ($\mu = 0.5$) переходу процесу в аварійну зону. На основі цього виходу інтелектуальна система керування судном повинна автоматично згенерувати команду на зміну курсу відносно фронту хвиль (штормування) або зупинити вантажні операції.

ВИСНОВКИ

Сучасний етап розвитку науки, техніки та інформаційних технологій характеризується активним впровадженням інтелектуальних методів оброблення інформації, автоматизованого прийняття рішень та адаптивного керування складними технічними системами. У цих умовах теорія нечітких множин посідає важливе місце серед математичних та інформаційних інструментів штучного інтелекту, оскільки забезпечує можливість формалізації невизначеності, роботи з неповною інформацією та використання експертних знань для вирішення практичних задач автоматизації.

На відміну від класичних математичних підходів, що ґрунтуються на чітких межах і точних числових значеннях, теорія нечітких множин дозволяє описувати складні процеси та явища за допомогою лінгвістичних змінних і функцій належності. Це значно розширює можливості моделювання реальних об'єктів, для яких неможливо отримати повну та достовірну інформацію або побудувати адекватну математичну модель. Саме тому нечітка логіка стала однією з ключових технологій створення сучасних інтелектуальних систем керування, експертних систем, систем підтримки прийняття рішень та робототехнічних комплексів.

У процесі вивчення дисципліни «Основи теорії нечітких множин» здобувачі другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» отримують фундаментальні знання щодо математичного апарату нечітких множин, принципів побудови нечітких моделей, методів фазифікації

та дефазифікації, алгоритмів нечіткого логічного виведення, а також особливостей створення інтелектуальних систем керування для складних технічних об'єктів.

Матеріали методичних вказівок спрямовані на формування системного розуміння процесів, що відбуваються в сучасних автоматизованих системах, робототехнічних комплексах та кіберфізичних системах. Значна увага приділяється вивченню принципів подання нечітких знань, побудови функцій належності, виконання операцій над нечіткими множинами та реалізації нечіткого логічного виведення як основи функціонування інтелектуальних систем.

Особливе значення має практична складова дисципліни. У процесі виконання самостійної роботи здобувачі отримують навички формалізації експертних знань, розроблення нечітких моделей, створення баз правил та аналізу результатів функціонування інтелектуальних систем. Такі компетентності є необхідними для сучасного інженера, діяльність якого пов'язана з проєктуванням і дослідженням автоматизованих систем, робототехнічних комплексів, систем технічної діагностики та підтримки прийняття рішень.

Виконання завдань, запропонованих у методичних вказівках, сприяє розвитку навичок самостійної роботи, аналітичного мислення та наукового підходу до розв'язання інженерних задач. Студенти навчаються працювати з науково-технічною літературою, аналізувати сучасні досягнення в галузі штучного інтелекту та автоматизації, використовувати математичні методи для опису складних процесів і застосовувати сучасні програмні засоби моделювання інтелектуальних систем.

Актуальність вивчення теорії нечітких множин значною мірою зумовлена сучасними тенденціями розвитку цифрової економіки та концепцій Індустрії 4.0 і Індустрії 5.0. Інтеграція технологій штучного інтелекту, Інтернету речей, кіберфізичних систем, великих даних та цифрових двійників потребує використання методів, здатних працювати в умовах

невизначеності та забезпечувати прийняття ефективних рішень у режимі реального часу. У цих процесах нечітка логіка виступає одним із найбільш універсальних і гнучких інструментів інтелектуальної обробки інформації.

Сучасні робототехнічні системи, автономні транспортні засоби, інтелектуальні виробничі комплекси та системи моніторингу дедалі частіше використовують нечіткі алгоритми керування. Це дозволяє забезпечити адаптацію до зміни зовнішніх умов, підвищити надійність функціонування технічних систем та покращити якість прийняття рішень. Поєднання нечіткої логіки з нейронними мережами, методами машинного навчання та еволюційними алгоритмами створює основу для формування нового покоління інтелектуальних систем, здатних до навчання, самоадаптації та самостійного прийняття рішень.

Для здобувачів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» особливо важливим є розуміння можливостей використання нечітких технологій у професійній діяльності. Отримані знання можуть бути використані під час розроблення автоматизованих систем керування технологічними процесами, інтелектуальних робототехнічних комплексів, систем технічної діагностики, експертних систем та програмно-апаратних засобів підтримки прийняття рішень. Це створює необхідне підґрунтя для виконання наукових досліджень, магістерських кваліфікаційних робіт та подальшої професійної діяльності у сфері сучасної автоматизації.

Важливим результатом опрацювання дисципліни є формування у здобувачів здатності аналізувати складні технічні системи, виявляти фактори невизначеності, обирати адекватні методи моделювання та обґрунтовувати прийняті інженерні рішення. Такі компетентності відповідають сучасним вимогам до магістрів спеціальності G7 та сприяють їх успішній професійній реалізації в умовах цифрової трансформації промисловості та суспільства.

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Основи теорії нечітких множин» забезпечують необхідне навчально-методичне підґрунтя для формування у майбутніх магістрів сучасного наукового світогляду, професійних компетентностей та практичних навичок використання методів нечіткої логіки в автоматизації, робототехніці та інтелектуальних інформаційних системах. Їх опанування сприятиме підготовці висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно працювати в умовах швидкого розвитку цифрових технологій, штучного інтелекту та інноваційних виробничих систем, а також розробляти нові інтелектуальні рішення для вирішення актуальних наукових і прикладних завдань.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ross T.J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. 4th ed. Wiley, 2023.
2. Pedrycz W., Chen S.-M. *Computational Intelligence and Fuzzy Systems*. Springer, 2021.
3. Kacprzyk J. (Ed.). *Advances in Fuzzy Logic and Technology 2021*. Springer, 2021.
4. Kreinovich V. *Fuzzy Techniques: Theory and Applications*. Springer, 2022.
5. Zimmermann H.-J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Updated Edition. Springer, 2021.
6. Lu J., Ma G., Zhang G. Fuzzy Machine Learning: A Comprehensive Framework and Systematic Review // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2024. Vol. 32(7). P. 3861–3878.
7. Tang Y., Yu F., Pedrycz W. Synergizing Two Types of Fuzzy Information Granules for Accurate and Interpretable Multi-Step Forecasting // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2024. Vol. 32(10). P. 5910–5923.
8. Ma G., Lu J., Zhang G. Multi-Source Domain Adaptation with Interval-Valued Target Data via Fuzzy Neural Networks // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2024. Vol. 32(5). P. 3094–3106.
9. Sun C., Han H., Wu X., Yang H. Anti-Forgetting Incremental Learning Algorithm for Interval Type-2 Fuzzy Neural Network // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2024. Vol. 32(4). P. 1938–1950.
10. Zhang T., Wagner C., Garibaldi J.M. Explain the World: Using Causality to Facilitate Better Rules for Fuzzy Systems //

IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024. Vol. 32(12). P. 6671–6683.

11. Li Y., Tsang Y.P., Lee C.K.M., Chen Z.-S. A Survey of Fuzzy Best-Worst Group Decision-Making Process Toward Human Centricity // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024.

12. Zheng L., Liu J., Chen C.L.P. Adaptive Fuzzy Optimal Control for Interconnected Switched Nonlinear Systems // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024.

13. Hu L., Xu X., Ren W., Han M. Hierarchical Evolving Fuzzy System for Chaotic Time Series Prediction // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024.

14. Zhong Z., Lam H.-K., Basin M., Zeng X. Fuzzy Neural Network-Based Adaptive Sliding-Mode Descriptor Observer // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024.

15. Kong L., Liu Z., Zhao Z., Lam H.-K. Observer-Based Fuzzy Tracking Control for an Unmanned Aerial Vehicle // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024.

16. Panneerselvam G., Rahmani A., Mani P. Fuzzy Event-Triggered Control for Grid-Connected PMSM Model // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024.

17. Xie R., Vong C.-M., Wang S. Doubly Interpretable Fuzzy Apriori Classifier // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2024.

18. Gu X., Angelov P. Multi-Class Fuzzily Weighted Adaptive Boosting-Based Self-Organising Fuzzy Inference Ensemble Systems // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2021.

19. Gu X., Ni Q., Tang G. A Novel Data-Driven Approach to Autonomous Fuzzy Clustering // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2021.

20. Chen X., Hu Z., Sun Y. Fuzzy Logic Based Logical Query Answering on Knowledge Graphs. 2021.

21. Koklu A., Guven Y., Kumbasar T. Efficient Learning of Fuzzy Logic Systems for Large-Scale Data Using Deep Learning. 2024.

22. Guven Y., Koklu A., Kumbasar T. Zadeh's Type-2 Fuzzy Logic Systems: Precision and High-Quality Prediction Intervals. 2024.
23. Bodjanov Ye.V. Інтелектуальний аналіз даних та нечіткі технології. Харків: ХНУРЕ, 2021.
24. Субботін С.О. Інтелектуальні інформаційні технології. Запоріжжя, 2022.
25. Жуков І.А., Коваленко А.В. Методи штучного інтелекту в системах автоматичного керування. Київ, 2023.
26. Nguyen H.T. *Fuzzy Control Systems*. Springer, 2021.
27. Castillo O., Melin P. *Type-2 Fuzzy Logic in Intelligent Control Applications*. Springer, 2021.
28. Angelov P. *Autonomous Learning Systems*. Wiley, 2021.
29. Pedrycz W. *Granular Computing and Intelligent Systems*. Springer, 2022.
30. Yager R.R. *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*. Springer, 2022.
31. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. Vol. 29. 2021.
32. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. Vol. 30. 2022.
33. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. Vol. 31. 2023.
34. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. Vol. 32. 2024.
35. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. Vol. 33. 2025.
36. Information Sciences. Special Issue on Fuzzy Modeling and Intelligent Systems. 2021.
37. Information Sciences. Special Issue on Explainable Fuzzy Systems. 2022.
38. Information Sciences. Special Issue on Fuzzy Decision Making. 2023.
39. Applied Soft Computing. Intelligent Fuzzy Systems Applications. 2021.
40. Applied Soft Computing. Fuzzy-Based Optimization Methods. 2022.
41. Applied Soft Computing. Hybrid Neuro-Fuzzy Systems. 2023.

42. Engineering Applications of Artificial Intelligence. Fuzzy Control Applications. 2021.
43. Engineering Applications of Artificial Intelligence. Intelligent Decision Support Systems. 2022.
44. Expert Systems with Applications. Fuzzy Expert Systems. 2023.
45. Expert Systems with Applications. Explainable Fuzzy AI. 2024.
46. Soft Computing. Advances in Fuzzy Computing. 2021.
47. Soft Computing. Fuzzy Systems and Data Analytics. 2022.
48. Soft Computing. Hybrid Intelligent Systems. 2023.
49. Soft Computing. Fuzzy Logic for Autonomous Systems. 2024.
50. IEEE Computational Intelligence Society. Recent Advances in Fuzzy Systems and Applications. IEEE Press, 2024.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Значення теорії нечітких множин у сучасній електротехніці та автоматизації	6
1.1. Теорія нечітких множин як складова сучасних інтелектуальних технологій.....	6
1.2. Значення нечіткої логіки для спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».....	7
1.3. Використання нечітких множин в автоматизованих системах керування.....	8
1.4. Роль нечіткої логіки в робототехніці та автономних системах.....	9
1.5. Нечіткі технології в системах підтримки прийняття рішень.....	10
1.6. Інтеграція нечіткої логіки з сучасними технологіями штучного інтелекту.....	10
1.7. Значення нечітких множин у концепціях Індустрії 4.0 та кіберфізичних систем.....	11
2. Актуальність інтелектуальних САК для морських рухомих об'єктів	12
2.1. Роль інтелектуальних систем керування в сучасних технологіях.....	12
2.2. Невизначеність як основна проблема сучасних систем керування.....	13
2.3. Використання нечіткої логіки в автоматизованих системах.....	14

2.4. Інтелектуальні системи в робототехніці.....	15
2.5. Кіберфізичні системи та Індустрія 4.0.....	15
2.6. Поєднання нечіткої логіки з методами штучного інтелекту.....	16
3. Мета та завдання самостійної роботи студентів (СРС).....	18
3.1. Роль самостійної роботи в освітньому процесі.....	18
3.2. Мета самостійної роботи з дисципліни.....	19
3.3. Основні завдання самостійної роботи.....	19
3.4. Формування професійних компетентностей.....	20
3.5. Очікувані результати навчання.....	21
Висновки.....	35
Рекомендована література.....	39

Навчальне видання

БЛІНЦОВ Володимир Степанович
БУРУНІН Андрій Павлович

ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ ТА САМОСТІЙНИХ РОБІТ

З ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН»

Комп'ютерне верстання *Н. М. Ковальчук*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,62. Вид. № 11. Зам. № 2906-65.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.