Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Емблема кафедри (за наявності)

Кафедра прикладної математики

НЕЧІТКА МАТЕМАТИКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	***другий (магістерський)***
Галузь знань	*11 математика і статистика*
Спеціальність	*113 прикладна математика*
Освітня програма	*ОПП «Наука про дані та математичне моделювання»*
Статус дисципліни	*Вибіркова*
Форма навчання	*очна(денна)*
Рік підготовки, семестр	*1 курс, весняний семестр*
Обсяг дисципліни	*150 год./5 кредити, лекцій 54 год.*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*Екзамен/ контрольна робота , груповий проект*
Розклад занять	*Лекції – 3 год. на тиждень*
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: *кандидат фіз..-мат. наук,доцент,Третиник Віолета Вікентіївна, viola.tret@gmail.com*
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&ir_own

2. Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Одним з перспективних напрямків наукових досліджень в області аналізу, прогнозування та моделювання явищ і процесів є нечітка логіка. Навчальна дисципліна «Нечітка математика» дає можливість сформувати в студентів компетенції, потрібні для розв'язання практичних задач професійної діяльності, пов'язаної з застосуванням методів нечіткої математики до моделювання систем високої складності. Щоб бути успішним та конкурентоспроможним на ринку праці потрібно володіти сучасними методами математичного моделювання.

Мета та завдання кредитного модуля

1. Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

– володіти основами нечіткої арифметики та методів нечіткої логіки;
– будувати нечіткі моделі процесів та явищ у техніці, економіці, біології тощо;
– знати та застосовувати на практиці методи теорії можливостей;
– проектувати системи нечіткого виведення для моделювання гуманістичних систем, розв'язання задач класифікації та розпізнавання, керування, інших задач обчислювального інтелекту.

2. Основні завдання кредитного модуля.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни, студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

– нечіткої арифметики;
– методів нечіткої логіки;

– методів теорії можливостей;
– методики проектування систем нечіткого виведення;
– особливостей застосування методів нечіткої математики до розв'язання задач класифікації та розпізнавання, оптимізації, кластеризації та керування, інших задач обчислювального інтелекту;

уміння:

– будувати та аналізувати нечіткі множини, виконувати над ними теоретико-множинні операції;
– виконувати арифметичні дії над нечіткими числами;
– аналізувати властивості та виконувати композицію нечітких відношень;
– будувати та аналізувати нечіткі та лінгвістичні змінні;
– виконувати нечітке виведення з нечітких висловлювань;
– будувати нечіткі моделі процесів та явищ у техніці, економіці, біології тощо;
– будувати системи нечіткого виведення, моделювати нечіткі системи з пам'яттю та без пам'яті, нечіткі контролери;

досвід:

– проектування систем нечіткого виведення для розв'язання актуальних практичних задач класифікації та розпізнавання, керування, інших задач обчислювального інтелекту.

Під час вивчення даної дисципліни студенти набудуть:

I. **загальних компетентностей:**
   - ЗК1. Здатність учитися і оволодівати сучасними знаннями
   - ЗК3. Здатність генерувати нові ідеї (креативність)
   - ЗК4. Здатність бути критичним і самокритичним
   - ЗК6. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
   - ЗК8. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності
II. **фахових компетентностей:**
   - ФК1. Здатність використовувати й адаптувати математичні теорії, методи та прийоми для доведення математичних тверджень і теорем
   - ФК2. Здатність виконувати завдання, сформульовані у математичній формі
   - ФК14. Здатність сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату

Програмними результатами навчання є:

- РН1. демонструвати знання й розуміння основних концепцій, принципів, теорій прикладної математики і використовувати їх на практиці;
- РН2. володіти основними положеннями та методами математичного, комплексного та функціонального аналізу, лінійної алгебри та теорії чисел, аналітичної геометрії, теорії диференціальних рівнянь, зокрема рівнянь у частинних похідних, теорії ймовірностей, математичної статистики та випадкових процесів, чисельними методами;
- РН7. вміти проводити практичні дослідження та знаходити розв'язок некоректних задач.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення кредитного модуля «Нечітка математика» дає можливість сформувати в студентів компетенції, потрібні для розв'язання практичних задач професійної діяльності, пов'язаної з застосуванням методів нечіткої математики до моделювання систем високої складності.

Кредитний модуль «Нечітка математика» забезпечує вивчення кредитних модулів «Інтелектуальний аналіз даних» та «Інтелектуальний аналіз даних великого обсягу»

навчального плану підготовки магістрів, які навчаються за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки за спеціальністю 113 Прикладна математика.

3. Зміст навчальної дисципліни

Осінній семестр

Кредитний модуль 1. *Вступ до теорії нечітких множин*

Тема 1.1. Основні положення нечіткої математики, причини появи та основні етапи розвитку

Тема 1.2. *Поняття нечіткої множини, основні характеристики нечітких множин. Операції над нечіткими множинами*

Тема 1.3. *Агрегація нечітких множин. Нечіткі відношення*

Тема 1.4. *Нечіткі числа. Інтервальна арифметика. Нечітка арифметика*

Тема 1.5. *Узагальнення нечітких множин. Нечіткі множини типу 2*

Кредитний модуль 2. *Нечітка та лінгвістична змінні. Нечітке виведення*

Тема 2.1. *Основи нечіткої логіки. Нечіткі та лінгвістичні змінні. Нечіткі висловлювання*

Тема 2.2. *Виведення з умовних висловлювань. Системи нечіткого виведення*

Тема 2.3. *Методи побудови нечітких множин*

Кредитний модуль 3. *Теорія можливостей*

Тема 3.1. *Основні поняття теорії можливостей*

Тема 3.2. *Зв'язок теорії можливостей із нечіткими множинами*

Тема 3.3. *Нечіткі та лінійні контролери*

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Куссуль Н. М. Інтелектуальні обчислення: Навчальний посібник / Н. М. Куссуль, А. Ю. Шелестов, А. М. Лавренюк. — К. : Наукова думка, 2006. — 186 с.
2. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 300 с
3. Кирик В.В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник / В.В. Кирик. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка» 2019. – 224 с
4. Івахів О.В. Основи побудови систем керування з нечіткою логікою / О. Івахів, М. Наконечний, Львів: Растр-7, 2017. – 129с.
5. Лисенко В.П. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм: монографія / В.П.Лисенко та ін. Київ: НУБіП України, 2014. – 336с.

Допоміжна література

6. Klir G. J. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications / G. J. Klir, B. Yuan. — Prentice Hall, 1995. — 592 p.
7. Huang C. Fuzzy Sets and Fuzzy Information Granulation Theory (Key selected papers by Lotfi A. Zadeh) / C. Huang, D. Ruan. — Beijing Normal University Press, 2000. — 360 p.
8. Fundamentals of Fuzzy Sets : [eds. D. Dubois, H. Prade]. — New York : Kluwer Academic Publishers, 2000. — 660 p.

9. Fuzzy Systems. Modeling and Control : [eds. H. T. Nguyen, M. Sugeno]. — New York : Kluwer Academic Publishers, 1998. — 532 p.
10. Practical Applications of Fuzzy Technologies : [ed. H.-J. Zimmermann]. — New York : Kluwer Academic Publishers, 1999. — 680 p.
11. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide. http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf
12. Dubois D. J. Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications / D. J. Dubois, H. Prade. — Academic Press, 1980. — 393 p.
13. Zadeh L. A. Computing with Words. Principal Concepts and Ideas / L. A. Zadeh. — Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2012. — 146 p. — (Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol. 277).
14. Mathematics of Fuzzy Sets. Logic, Topology, and Measure Theory : [eds. U. Höhle, S. E. Rodabaugh]. — New York : Kluwer Academic Publishers, 1999. — 722 p.

3. Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	**Основні положення нечіткої математики, причини появи та основні етапи розвитку** Принцип несумісності. Біологічні витоки теорії нечітких множин. Приклади застосування нечіткої математики в сучасних промислових та інформаційних системах. Завдання на СРС: гранулярність інформації.
2	**Поняття нечіткої множини, основні характеристики нечітких множин** Огляд класичної теорії множин. Поняття нечіткої множини, основні характеристики нечітких множин. Функції належності, відмінність від функцій розподілу ймовірностей. Основні класи функцій належності. Завдання на СРС: функції належності типу сигмоїд.
3	**Стандартні операції над нечіткими множинами. Нечіткі заперечення** Стандартні заперечення, перетин, об'єднання. Аксіоми нечіткого заперечення. Класи нечітких заперечень. Завдання на СРС: подання нечітких множин за допомогою альфа-зрізів.
4	**Нечіткі перетини та об'єднання** *T*-норми, аксіоми, властивості. Класи нечітких перетинів. *T*-конорми, аксіоми, властивості. Класи нечітких об'єднань. Завдання на СРС: дуальність нечітких заперечень та об'єднань.
5	**Агрегація нечітких множин. Нечіткі відношення, їхні властивості** Оператори агрегації. Нечіткі відношення. Проекції та циліндричні розширення нечітких відношень. Композиції нечітких відношень Завдання на СРС: обумовлені нечіткі відношення.
6	**Бінарні нечіткі відношення** Бінарні нечіткі відношення. Нечіткі відношення еквівалентності та порядку. Завдання на СРС: нечітке відношення сумісності.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
7	**Нечіткі числа. Інтервальна арифметика. Нечітка арифметика** Принцип розширення. Нечіткі числа. Потужності нечітких множин. Інтервальна арифметика. Нечітка арифметика. Завдання на СРС: нечіткі рівняння.
8	**Узагальнення нечітких множин. Нечіткі множини типу 2** L-нечіткі множини. Штрафні множини. Нечіткі множини типу 2, їх застосування на практиці. Завдання на СРС: інтервально визначені нечіткі множини.
9	**Нечітка та лінгвістична змінні** Поняття змінної як формальної трійки. Нечітка змінна як формальна трійка. Сумісність значення зі змінною. Лінгвістична змінна як формальна п’ятірка. Терм-множина лінгвістичної змінної. Зв’язок сенсу значення лінгвістичної змінної та функції належності нечіткої змінної. Ієрархічна структура лінгвістичної змінної. Завдання на СРС: самостійно вивчити формальні визначення лінгвістичної змінної.
10	**Основи нечіткої логіки. Нечіткі висловлювання** Огляд класичної двозначної логіки. Основні правила виведення в класичній логіці. Поняття класичного предикату, його властивості. Огляд багатозначних логік. Нечіткі висловлювання. Класи нечітких висловлювань. Поняття про кваліфіковані висловлювання. Умовні висловлювання. Нечіткі квантифікатори першого роду. Лінгвістичні модифікатори. Завдання на СРС: нечіткі квантифікатори другого роду.
11	**Виведення з умовних висловлювань** Нечітка імплікація. Аксіоми та класи нечітких імплікацій. Виведення з умовних висловлювань. Метод інтерполяції для виведення з декількох посилок. Завдання на СРС: виведення з кваліфікованих умовних висловлювань.
12	**Нечіткі системи. Системи нечіткого виведення** Огляд нечітких систем. Архітектура систем нечіткого виведення. Різновиди систем нечіткого виведення. Системи типу Мамдані та типу Суґено. Методи фазифікації та дефазифікації. Проектування бази нечітких правил. Завдання на СРС: самостійно вивчити типи систем нечіткого виведення, не розглянуті на лекції.
13	**Методи побудови нечітких множин** Прямі та непрямі методи з одним та багатьма експертами. Завдання на СРС: метод парних порівнянь.
14	**Основи теорії можливостей** Основні поняття теорії можливостей. Міри неточності інформації. Завдання на СРС: альтернативні підходи до аксіоматики теорії можливостей.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
15	**Теорія можливостей та її зв'язок із теорією ймовірностей** Теорія можливостей та теорія ймовірностей: порівняння. Завдання на СРС: здійснити порівняльний аналіз аксіом теорії можливостей та теорії ймовірностей.
16	**Зв'язок теорії можливостей із нечіткими множинами** Нечіткі множини як розподіл можливостей відповідних лінгвістичних змінних. Завдання на СРС: розглянути поняття можливості та неодмінності нечітких подій.
17	**Нечіткі та лінійні контролери** Методологія нечіткого керування. Стабільність нечіткого керування. Завдання на СРС: розглянути методологію проектування нечітких контролерів.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	**Основні положення нечіткої математики, причини появи та основні етапи розвитку** Гранулярність інформації.	8
2	**Поняття нечіткої множини, основні характеристики нечітких множин. Операції над нечіткими множинами** Функції належності типу сигмоїд, подання нечітких множин за допомогою альфа-зрізів, дуальність нечітких заперечень та об'єднань.	8
3	**Агрегація нечітких множин. Нечіткі відношення** Обумовлені нечіткі відношення, нечітке відношення сумісності.	10
4	**Нечіткі числа. Інтервальна арифметика. Нечітка арифметика** Нечіткі рівняння.	10
5	**Узагальнення нечітких множин. Нечіткі множини типу 2** Інтервально визначені нечіткі множини.	12
6	**Основи нечіткої логіки. Нечіткі та лінгвістичні змінні. Нечіткі висловлювання** Формальні визначення лінгвістичної змінної, нечіткі квантифікатори другого роду.	8
7	**Виведення з умовних висловлювань. Системи нечіткого виведення** Виведення з кваліфікованих умовних висловлювань, систем нечіткого виведення Цукамото та Ларсена.	8

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
8	**Методи побудови нечітких множин** Метод парних порівнянь	8
9	**Основні поняття теорії можливостей** Альтернативні підходи до аксіоматики теорії можливостей.	8
10	**Зв'язок теорії можливостей із нечіткими множинами** Поняття можливості та неодмінності нечітких подій.	8
11	**Нечіткі та лінійні контролери** Методологія проектування нечітких контролерів.	8

4. Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ДОМАШНІХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ РОБІТ

1. Звіт виконують на аркушах формату А4.
2. Роботи виконуються згідно файлу «план практичних занять». Варіант відповідає номеру в списку групи студента.
3. Умова задачі переписується перед розв'язанням. Відповідь виділяється.
4. Робота здається у вказаний викладачем термін.

Правила виконання групового проекту з дисципліни «Нечітка-математика»

Завдання

1. Реалізувати нечітку систему виводу з деякої предметної області.
   - виконується за зразком поданим у лекції №11-12
2. Підготувати звіт за результатами роботи.
   - Вказати список учасників
   - Написати анотацію
   - Описати постановку задачі
   - Вказати літературні посилання, які використовувались в проекті
   - Реалізувати математичну формалізацію задачі
   - Описати всі етапи нечіткого виводу
   - Виконати тестування системи (самостійно закодувати або використати Matlab Fuzzy Tool Box)
   - Зробити висновки
   - Описати внесок кожного учасника проекту (ролі та задачі)
3. Презентувати (Power Point) та доповісти (10 хв) роботу на практичному занятті.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом: табл. 1.

Таблиця 1

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин			Контрольні заходи		Семестрова атестація
	кредити	академічні години	лекції, акад. год.	практичні заняття, акад. год.	СРС	МКР	РГР, РР, ГР	
1	5	150	54	-	96	2	2	Екзамен

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з:

1) балів за виконання модульної контрольної роботи;
2) балів за домашню індивідуальну роботу;
3) балів за груповий проект.

СИСТЕМА РЕЙТИНГОВИХ БАЛІВ

1. Бали за модульну контрольну роботу

Модульна контрольна робота поділяється на дві 90-хвилинні контрольні роботи, кожна з яких містить по 5 практичних завдань.

Максимальна кількість балів за відповідь на кожне завдання: 3 балів.

Критерії оцінювання:

3 балів — відповідь повна і правильна;

2 балів — відповідь неповна, правильна або містить незначні неточності;

1 балів — відповідь неповна і неточна;

0 балів — відповідь неправильна або відсутня.

Максимальна кількість балів за модульний контроль:
3 балів × 5 запит. × 2 КР = **30 балів**.

2. Бали за домашню індивідуальну роботу

Максимальна кількість балів за вірно виконану і вчасно здану роботу - **10 балів**.

Критерії оцінювання:

10 балів — відповіді повні і правильні;

7 балів — відповіді неповні, правильні або містять незначні неточності;

5 балів — відповіді неповні і неточні;

0 балів — відповіді неправильні або відсутні.

3. Бали за груповий проект

4. Максимальна кількість балів за вірно виконаний і вчасно представлений груповий проект - **10 балів**.

5. *Критерії оцінювання:*

6. *10 балів — проект реалізовано вірно і вчасно;*

7. *7 балів — проект неповний або містить незначні неточності;*
8. *5 балів — проект неповний і неточний;*
9. *0 балів — проект неправильний або відсутній.*

10. Бали за відповідь на екзамені

Екзаменаційний білет складається з 6 питань – 2 теоретичних та 4 практичних. Відповідь на кожне теоретичне запитання оцінюється 5 балами, відповідь на кожне практичне запитання оцінюється 10 балами.

Критерії оцінювання кожного теоретичного запитання екзаменаційної роботи:

5 балів – відповідь вірна, повна, добре аргументована;
4 балів – в цілому відповідь вірна, але має недоліки;
3 балів – у відповіді є незначні помилки;
2 бали – у відповіді є суттєві помилки;
0-1 балів – немає відповіді.

Критерії оцінювання кожного практичного запитання екзаменаційної роботи:

10 балів – відповідь вірна, повна, добре аргументована;
7-9 балів – в цілому відповідь вірна, але має недоліки;
4-6 балів – у відповіді є незначні помилки;
2-3 бали – у відповіді є суттєві помилки;
0-1 балів – немає відповіді.

Максимальна кількість балів за відповідь на екзамені:
12.5 балів × 4 запитання = **50 балів**.

11. Розрахунок шкали (R) рейтингу

Семестрова складова рейтингової шкали $\mathbf{R_C = 50}$ **балів**, вона визначається як сума додатних балів, отриманих за виконання домашньої контрольної роботи, модульної контрольної роботи, відповіді на теоретичні контрольні роботи, активність на практичних заняттях.

Екзаменаційна складова рейтингової шкали $\mathbf{R_E = 50}$ **балів**.

Рейтингова шкала з дисципліни дорівнює: $\mathbf{R = R_C + R_E = 100}$ **балів.**

12. Поточна атестація

На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше **12 балів** (50 % від максимальної кількості балів, яку може отримати студент до першої атестації).

На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше **20 балів** (50 % від максимальної кількості балів, яку може отримати студент до другої атестації).

13. Умова допуску до екзамену та визначення оцінки

Необхідною умовою допуску студента до екзамену є семестровий рейтинг студента ($\mathbf{r_C}$) не менше 40 % від $\mathbf{R_C}$, тобто не менше **20 балів**. В іншому разі студент повинен виконати додаткову роботу та підвищити свій рейтинг.

Сумарний рейтинг студента **RD** визначається як сума семестрового рейтингу студента $\mathbf{r_C}$ та балів $\mathbf{r_E}$, отриманих на екзамені. Оцінка (**ECTS** та традиційна) виставляється відповідно до значення **RD** згідно з табл. 2.

14. Визначення оцінки в умовах дистанційної форми навчання

Студент, який набрав за поточний контроль **менше** 30 балів складає іспит. Іспит складається з чотирьох практичних задач та подальшої усної співбесіди. Оцінка студенту, який набрав за поточний контроль **не менше** 30 балів розраховується за формулою:

$$60 + \frac{40(Rs-24)}{Rmax-24},$$

Де Rs – поточний бал студента, Rmax – максимальний бал за семестр.

Таблиця 2

Рейтингові бали, RD	*Оцінка за університетською шкалою*
$95 \leq RD \leq 100$	Відмінно
$85 \leq RD \leq 94$	Дуже добре
$75 \leq RD \leq 84$	Добре
$65 \leq RD \leq 74$	Задовільно
$60 \leq RD \leq 64$	Достатньо
$RD < 60$	Незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрового контролю	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік теоретичних питань, що виносяться на іспит:

1. Нечіткі множини.
2. Нечітка арифметика.
3. Нечіткі операції.
4. Нечіткі відношення.
5. Нечіткі та лінгвістичні змінні.
6. Нечіткі висловлювання.
7. Виведення з нечітких висловлювань.
8. Нечіткі системи.
9. Системи нечіткого виведення: загальна архітектура, етап фазифікації, модуль нечіткого виведення.
10. Системи нечіткого виведення: база нечітких правил, етап дефазифікації. Етапи розробки систем нечіткого виведення.
11. Системи нечіткого виведення типу Суґено та Цукамото. Властивості систем нечіткого виведення.
12. Теорія можливостей
13. Нечітке керування.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент, кандидат фіз.-мат. наук, доцент, Третиник Віолета Вікентіївна

Ухвалено кафедрою прикладної математики (протокол №10 від 02.01.24р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол №6 від 26.01.2024р.)