Вінницький національний технічний університет
Інститут докторантури та аспірантури
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

МЕТОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В МЕХАНІЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

Вибірковий освітній компонент

Рівень вищої освіти: **третій (освітньо-науковий)**
Спеціальність: **для всіх**

Викладач: **доцент Піонткевич О. В.**

Мова викладання: **Українська**

Семестр: **4**

Кредитів ЄКТС: **3**

Лекцій: **16 год.**

Практичні заняття: **16 год.**

Самостійна робота: **58 год.**

Вид контролю: **Диф. залік**

Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна «Методи машинного навчання та нечіткої логіки в механічній інженерії» ґрунтується на знаннях, засвоєних під час вивчення дисциплін професійного спрямування підготовки за третім освітньо-науковим рівнем вищої освіти. Доцільним є попереднє опанування освітніх компонентів, пов’язаних із основ вищої математики, теорії ймовірностей, математичної статистики, машинознавства та математичного моделювання. Бажаними є початкові навички програмування мовою Python.

Мета дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни «Методи машинного навчання та нечіткої логіки в механічній інженерії» полягає у формуванні в здобувачів теоретичних знань і практичних дослідницьких навичок щодо застосування методів машинного навчання, штучних нейронних мереж, нечіткої логіки та нейронечітких систем для моделювання, ідентифікації, діагностування, прогнозування й інтелектуального керування технічними об’єктами механічної

інженерії.

Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач в результаті вивчення дисципліни:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- Застосування сучасних знань в галузі наукових досліджень і проектування конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та на межі суміжних предметних галузей.
- Здатність критичного аналізу, оцінки і синтезу нових ідей в процесі розробки та реалізації механічних конструкцій, машин, матеріалів і виробничих процесів машинобудування на основі новітніх знань в галузі механіки та суміжних предметних галузей.
- Застосування інформаційних технологій в науковій діяльності.
- Здатність поставити задачу і визначити шляхи вирішення проблеми засобами прикладної механіки та суміжних предметних галузей, знання методів пошуку оптимального рішення за умов неповної інформації та суперечливих вимог.
- Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки.

За результатами вивчення дисципліни здобувачі вищої освіти набувають результатів навчання:

Знати методи одержання, обробки та аналізу інформації, у тому числі з іншомовних джерел, теорію і методики проведення наукових досліджень та вміти їх практично застосовувати для досліджень об'єктів в галузі прикладної механіки.

Тематика

Модуль 1.

Тема 1. Теоретичні основи та напрями застосування машинного навчання в механічній інженерії.

Предмет, мета та завдання дисципліни. Місце машинного навчання в сучасних дослідженнях машин, приводів і технологічного обладнання. Порівняння фізично обґрунтованих моделей і моделей, побудованих за даними; гібридні підходи. Навчання з учителем та без учителя. Постановка задач

регресії, класифікації, виявлення аномалій та ідентифікації динамічних характеристик. Вхідні ознаки, цільові змінні та експериментальні дані.

Тема 2. Підготовка інженерних даних та оцінювання якості моделей машинного навчання.

Джерела інженерних даних: експеримент, комп'ютерне моделювання та вимірювання датчиками. Попереднє оброблення даних, обробка пропусків і викидів, фільтрація шумів, нормалізація та стандартизація. Формування вибірок для навчання, валідації та тестування. Особливості розділення часових рядів, запобігання витоку даних. Вибір метрик похибки регресії та якості класифікації. Перенавчання, регуляризація, перехресна перевірка. Відтворюваність чисельних експериментів.

Тема 3. Методи машинного навчання для прогнозування та класифікації станів механічних систем.

Лінійна та нелінійна регресія. Дерева рішень, випадковий ліс, ансамблеві алгоритми та метод опорних векторів. Вибір алгоритму залежно від обсягу вибірки, типу ознак і фізичного змісту задачі. Навчання моделей для прогнозування робочих характеристик машин. Класифікація режимів навантаження й ознак несправностей. Підбір гіперпараметрів. Порівняльний аналіз результатів на незалежних тестових даних.

Тема 4. Нейромережеві методи моделювання та ідентифікації характеристик машин.

Штучний нейрон і багатошарові нейронні мережі. Функції активації, функції втрат, градієнтні методи навчання та зворотне поширення похибки. Архітектури нейронних мереж для регресії, ідентифікації нелінійних залежностей і прогнозування сигналів. Вибір структури нейромережевої моделі за обмежених даних. Регуляризація, рання зупинка та оцінювання похибки узагальнення. Приклади прогнозування характеристик гідроприводів, механізмів і підшипникових вузлів.

Тема 5. Теоретичні основи нечіткої логіки та побудова нечітких моделей технічних систем.

Поняття нечіткої множини, лінгвістичної змінної та функції належності. Нечіткі логічні операції, правила типу «якщо — то». Фазифікація, механізм нечіткого висновування та дефазифікація. Системи Мамдані й Суґено: структура, особливості, переваги та обмеження. Формування бази правил на основі експертних знань. Застосування нечітких моделей для оцінювання режимів роботи, стану машини та прийняття рішень за невизначеності.

Тема 6. Методи формування та налаштування нечітких систем на основі даних.

Визначення кількості та параметрів функцій належності. Побудова початкової бази правил за експертними і статистичними даними. Нечітка кластеризація та використання експериментальних вибірок для ідентифікації

нечітких моделей. Методи налаштування параметрів нечітких систем. Побудова поверхонь відгуку. Аналіз чутливості параметрів, повноти бази правил, точності й інтерпретованості отриманих моделей.

Тема 7. Нейронечіткі моделі та методи адаптивного навчання.

Поєднання нейронних мереж і нечіткого висновування. Архітектура адаптивної нейронечіткої системи висновування. Ідентифікація систем типу Суґено за вибірками «вхід — вихід». Алгоритми навчання та оптимізації параметрів функцій належності. Валідація, запобігання перенавчанню, вплив обсягу даних і кількості правил на точність. Порівняння нейронечітких моделей із класичними алгоритмами регресії та нейронними мережами.

Тема 8. Застосування інтелектуальних моделей для діагностування, прогнозування та керування механічними системами.

Побудова інтелектуальних моделей для прогнозування робочих характеристик, діагностування несправностей і контролю стану машин. Використання моделей, побудованих за даними, для адаптації алгоритмів керування механічними та гідравлічними системами. Порівняльне оцінювання точності, інтерпретованості, обчислювальних витрат і стійкості до змін режимів роботи. Обмеження застосування моделей за відсутності репрезентативних даних. Обґрунтування результатів чисельних експериментів і перспективи використання в наукових дослідженнях.

Теми семінарських занять - не передбачені

Теми практичних занять

№ з/п	**Назва теми**	**К-ть годин**
	Семестр 4	
1	Підготовка набору інженерних даних для машинного навчання. Попереднє оброблення, нормалізація та формування навчальної, валідаційної й тестової вибірок.	4
2	Побудова та порівняльний аналіз моделей машинного навчання для прогнозування характеристик і діагностування механічних систем.	3
3	Розроблення та навчання штучної нейронної мережі для моделювання характеристик механічної системи.	3
4	Побудова нечіткої моделі технічної системи. Формування функцій належності, бази правил та дослідження результатів нечіткого висновування.	3
5	Розроблення нейронечіткої моделі та порівняння її характеристик із нейромережевими й нечіткими моделями.	3
	Всього за 4 семестр:	16

Теми лабораторних занять - не передбачені

Самостійна робота

№ з/п	Вид роботи	К-ть годин
1	Самостійне опрацювання тем теоретичного матеріалу	
1.1	Поглиблене опрацювання методів добору ознак та інтерпретації інженерних даних	5
1.2	Дослідження машинного навчання для аналізу часових рядів механічних систем	5
1.3	Сучасні методи оцінювання невизначеності та пояснюваності інтелектуальних моделей	5
1.4	Аналіз наукових публікацій щодо нейронечітких систем у приводах і машинобудівному обладнанні	5
2	Опрацювання лекційного матеріалу	15
3	Підготовка до практичних занять	15
4	Підготовка до модульного контролю	5
5	Підготовка до складання диф. заліку	3
	Всього	58

Методи навчання

При вивченні дисципліни використовуються:

1. Дидактичні методи - лекції з використанням мультимедійних презентацій.
2. Практичні методи: практичні роботи з використанням прикладного програмного забезпечення.
3. Метод самостійного навчання.
4. Активні методи: експрес опитування, тестування.
5. Словесні методи навчання: лекції, консультації.

Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання - не передбачені

Форми та методи контролю

Протягом вивчення дисципліни передбачається поточний та підсумковий форми контролів знань здобувачів.

Поточний контроль проводиться шляхом фронтального, індивідуального чи комбінованого опитування студентів в результаті написання колоквіумів. Колоквіуми можуть проводитись за допомогою таких методів:

- письмової контрольної роботи;
- складання тестів у електронній системі університету.

Методи написання та максимально дозволений час колоквіуму оголошується здобувачам на першому тижні навчального семестру.

Підсумковий контроль знань здобувачів проводиться шляхом складання диференційованого заліку за темами, що охоплюють весь курс дисципліни.

Метод та максимально дозволений час складання підсумкового контролю оголошується здобувачам на першому тижні навчального семестру.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти

Розподіл балів з навчальних видів робіт з дисципліни.

Вид роботи	**М1**	**Разом**
Виконання практичних завдань	60	60
Колоквіуми	40	40
Усього за модуль	100	100
Диф. залік	-	0
Всього	-	100

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	**Оцінка ECTS**
90-100	A
82-89	B
75-81	C
64-74	D
60-63	E
35-59	FX (з можливістю повторного перескладання)
0-34	F (з обов’язковим повторним вивченням дисципліни)

Критерії оцінювання знань, умінь та навичок здобувачів вищої освіти

Рівень компе-тентно-сті	**За баль-ною шкалою**	**За шкалою ECTS**	**Критерії оцінювання**
IV Високий (творчий)	90 - 100	A	Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин; виявлено глибокі знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності, сформовано необхідні практичні навички вирішувати професійні завдання усі передбачені програмою навчання навчальні завдання виконані, якість їхнього виконання оцінено числом балів, близьким до максимального.

III Достатній (конструктивний)	82 - 89	B	Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин. Необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом в основному сформовані, усі передбачені програмою навчання навчальні завдання виконані, якість виконання більшості з них оцінено числом балів, близьким до максимального.
	75 - 81	C	Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин. Вміння викладати базові ідеї, а також практичні навички роботи з освоєним матеріалом сформовані недостатньо; усі передбачені програмою навчання завдання виконані, якість виконання жодного з них не оцінено мінімальним числом балів, деякі види завдань виконані з помилками.
II Середній (репродуктивний)	64 - 74	D	Програмні результати досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, але прогалини не носять істотного характеру, виявлено знання та розуміння основних положень; необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом в основному сформовані, більшість передбачених програмою навчання навчальних завдань виконано, деякі з виконаних завдань містять помилки.
	60 - 63	E	Програмні результати досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, деякі практичні навички роботи не сформовані, частина передбачених програмою навчання завдань не виконано або якість виконання оцінено числом балів, близьким до мінімального.
I Низький	35 - 59	FX	Програмні результати не досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, необхідні практичні навички роботи не сформовані, більшість передбачених програм навчання навчальних завдань не виконане, або якість їхнього виконання оцінено числом балів, близьким до мінімального; при додатковій самостійній роботі над матеріалом курсу можливе підвищення якості виконання навчальних завдань (з можливістю повторного складання)
	0 - 34	F	Програмні результати не досягнуті. Теоретичний зміст курсу не освоєно, необхідні практичні навички роботи не сформовані, усі виконані навчальні завдання містять грубі помилки, додаткова самостійна робота над матеріалом курсу не приведе до якого-небудь значущого підвищення якості виконання навчальних завдань (з обов'язковим повторним курсом)

Рівень компетентності	**За шкалою ECTS**	**Критерії оцінювання**	
		Практичне завдання	**Колоквіум**

IV Високий (творчий)	A	**10.8-12 б.:** Виставляється при правильному та безпомилковому виконанні завдання	**36-40 б.:** 100% правильних відповідей
III Достатній (конструктивний)	B	**9.84-10.79 б.:** Виставляється при правильному виконанні завдання, але у відповідях допущені деякі несуттєві помилки, відсутні обґрунтування окремих положень.	**32.8-35.99 б.:** 82-89% правильних відповідей
	C	**9-9.83 б.:** Виставляється при правильному виконанні завдання, але з деякими незначними помилками, у відповідях допущені неправильні обґрунтування окремих положень.	**30-32.79 б.:** 75-81% правильних відповідей
II Середній (репродуктивний)	D	**7.68-8.99 б.:** Виставляється, якщо при виконанні завдання допущені помилки, які свідчать про недостатнє знання теорії	**25.6-29.99 б.:** 64-74% правильних відповідей
	E	**7.2-7.67 б.:** Виставляється, якщо при виконанні допущені помилки, які свідчать про недостатнє знання теорії, пояснення відсутні або фрагментарні.	**24-25.59 б.:** 60-63% правильних відповідей
I Низький	FX, F	**0-7.19 б.:** Виставляється у випадку, якщо завдання не виконане	**0-23.99 б.:** 0-59% правильних відповідей

Академічні права та обов'язки здобувачів вищої освіти

Здобувачі вищої освіти, які навчаються у ВНТУ, мають дотримуватися норм забезпечення честі, гідності, взаємної поваги і довіри, рівноправності та толерантності усіх учасників освітнього процесу шляхом дотримання принципів академічної доброчесності, викладених у «Положенні про академічну доброчесність у ВНТУ». З метою запобігання та виявлення плагіату у навчальних роботах, розвитку навичок коректної роботи із джерелами інформації та

впровадження практики належного цитування, дотримання вимог наукової етики та поваги до інтелектуальних надбань та активізація самостійності й індивідуальності при створенні авторського твору і відповідальності за порушення загальноприйнятих правил цитування слід дотримуватись норм «Положення про запобігання академічному плагіату та порядок його виявлення

у навчальних, наукових, кваліфікаційних та науково-методичних роботах у ВНТУ». З метою визнання результатів навчання здобутих під час неформальної та/або інформальної освіти, тобто такої, що здобувалася за освітніми програмами та не передбачала присудження визнаних державою освітніх кваліфікацій за рівнями освіти, але могла завершуватися присвоєнням професійних та/або присудженням часткових освітніх кваліфікацій при навчанні на території України чи за її межами, а також освіти, яка здійснювалася у порядку самоосвіти, здобувачі вищої освіти можуть скористатися відповідними процедурами, наведеними у «Положення про порядок визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти у ВНТУ». Здобувачі вищої освіти мають право оскаржити результати проміжних та підсумкових контрольних заходів, але на лише на підставі аргументованих пояснень, відповідно до «Порядку організації та проведення заліків, диференційованих заліків, екзаменів у ВНТУ», а також безпосередньо звернувшись до освітнього омбудсмена, згідно «Положення про освітнього омбудсмена з прав студентів ВНТУ». З метою вирішення конфліктних ситуацій, що можуть виникнути у здобувачів освіти із іншими учасниками освітнього процесу та/або недопущення виникнення конфліктних ситуацій слід бути обізнаним у нормах «Кодексу етики спільноти ВНТУ». Здобувачі вищої освіти ВНТУ мають керуватися принципом «нульової толерантності» до будь-яких проявів корупції і повинні вживати всіх передбачених законодавством заходів щодо запобігання, виявлення та протидії корупції і пов’язаним з нею діям (практикам), відповідно до «Антикорупційної програми ВНТУ». Наведені документи оприлюднені на сайті ВНТУ: https://vntu.edu.ua/uk/public-info/zag.html.

Рекомендована література

Основна

1. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R., Taylor J. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in Python. Springer, 2023. 607 p. URL: https://www.statlearning.com/?utm_source=chatgpt.com

2. Zhang A., Lipton Z. C., Li M., Smola A. J. Dive into Deep Learning. Cambridge University Press, 2023 URL: https://d2l.ai/?utm_source=chatgpt.com

3. Voloşencu C. (Ed.). Fuzzy Systems – Theory and Applications. IntechOpen, 2022. 280 p. DOI: 10.5772/intechopen.87799

4. Dadios E. P. (Ed.). Advances in Fuzzy Logic Systems. IntechOpen, 2023. 212 p. DOI: 10.5772/intechopen.103986.

5. Gu X., Han J., Shen Q., Angelov P. P. Autonomous Learning for Fuzzy Systems: A Review. Artificial Intelligence Review. 2023. Vol. 56. P. 7549–7595. DOI: 10.1007/s10462-022-10355-6.

6. Filo G. A Review of Fuzzy Logic Method Development in Hydraulic and Pneumatic Systems. Energies. 2023. Vol. 16(22). Article 7584. DOI: 10.3390/en16227584

7. Наука про дані: машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережевого) використання [Електронний ресурс] / В. Б. Мокін, М. В. Дратований. Вінниця : ВНТУ, 2024. 258 с.

8. Іванчук Я. В., Месюра В. І., Яровий А. А., Манжілевський О. Д. Інтелектуальний аналіз даних та машинне навчання: навч. посіб. Ч.1 : Базові методи та засоби аналізу даних. Вінниця : ВНТУ, 2021. 69 с.

Додаткова

1. Mellah R., Khati H., Talem H., Guermah S. Compensatory Adaptive Neural Fuzzy Inference System. In: Fuzzy Systems – Theory and Applications. IntechOpen, 2021. DOI: 10.5772/intechopen.96050

2. Ivančan J., Lisjak D., Pavletić D., Kolar D. Improvement of Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Machines. 2023. Vol. 11(7). Article 739. DOI: 10.3390/machines11070739.

3. Tao H., Jia P., Wang X., Wang L. Real-Time Fault Diagnosis for Hydraulic System Based on Multi-Sensor Convolutional Neural Network. Sensors. 2024. Vol. 24(2). Article 353. DOI: 10.3390/s24020353.

4. Pérez-Pérez E.-J., González-Baldizón Y., Fragoso-Mandujano J.-A., Guzmán-Rabasa J.-A., Santos-Ruiz I. Data-Driven Fault Diagnosis in Water Pipelines Based on Neuro-Fuzzy Zonotopic Kalman Filters. Mathematical and Computational Applications. 2025. Vol. 30(1). Article 2. DOI: 10.3390/mca30010002

5. Нейромережеві моделі та технології обчислювального інтелекту. нейрокомп’ютери. Частина І: навчальний посібник / О. К. Колесницький, В. І. Месюра. Вінниця : ВНТУ, 2021. 66 с.