

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ**

**Силабус ДВА-12 «Комбінаторика в задачах штучного інтелекту»**

**Реквізити навчальної дисципліни**

<b>Рівень вищої освіти</b>	Третій (освітньо-науковий)
<b>Галузь знань</b>	12 – Інформаційні технології
<b>Спеціальність</b>	122 – Комп'ютерні науки
<b>Освітньо-наукова програма</b>	Інтелектуальні методи та засоби комп'ютерних наук
<b>Статус дисципліни</b>	Вибіркова
<b>Форма навчання</b>	Очна(денна)
<b>Рік підготовки, семестр</b>	2 рік, 4 семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	2 кредити /60 годин
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	Диференційований залік
<b>Розклад занять</b>	_1_ година аудиторних занять/тиждень,
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	Лектор: Тимофієва Надія Костянтинівна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу комплексних досліджень інформаційних технологій e-mail: <a href="mailto:tymnad@gmail.com">tymnad@gmail.com</a>
<b>Розміщення курсу</b>	<a href="https://aspirant.irtc.org.ua/silabusi/">https://aspirant.irtc.org.ua/silabusi/</a>

**ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Дисципліна «Комбінаторика та комбінаторна оптимізація в задачах штучного інтелекту» належить до переліку дисциплін циклу професійної підготовки аспірантів (за вибором аспіранта). Вона забезпечує важливий аспект професійного світогляду аспіранта та спрямована на формування вміння розробляти та використовувати в наукових дослідженнях сучасні інформаційні технології моделювання та розв'язання задач штучного інтелекту з використанням комбінаторного аналізу та комбінаторної оптимізації.

**МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

Метою дисципліни «Комбінаторика та комбінаторна оптимізація в задачах штучного інтелекту» є навчити аспіранта виявляти перебірні задачі в штучному інтелекті та зводити їх до задач комбінаторної оптимізації, використовувати методи їхнього моделювання в рамках теорії комбінаторної оптимізації, для їхнього розв'язання розробляти ефективні алгоритми з використанням відомих методів та шукати нові підходи, активно працювати з інформаційними джерелами, створювати нові знання шляхом проведення оригінальних теоретичних та експериментальних досліджень.

Основними завданнями є: 1) ознайомлення з основами комбінаторного аналізу та комбінаторної оптимізації; 2) використання набутих знань для розв'язання оптимізаційних задач штучного інтелекту.

**Інтегральна компетентність:**

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у сфері комп'ютерних наук, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

**Загальні компетентності:**

ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні проблеми комп'ютерних наук на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору з дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

**Спеціальні(фахові) компетентності:**

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у комп'ютерних науках та дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з комп'ютерних наук та суміжних галузей.

СК06. Здатність аналізувати та оцінювати сучасний стан і тенденції розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

СК08.Здатність аналізувати дані та одержувати необхідні знання для розв'язання нестандартних завдань з використанням математичних методів та методів комп'ютерного моделювання.

СК10. Здатність до проведення наукових досліджень з інтелектуального оброблення, аналізу та інтерпретації інформації про об'єкти різної природи.

**Програмні результати навчання**

РН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми комп'ютерних наук державною та іноземною мовами, оприлюднювати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у комп'ютерних науках та дотичних міждисциплінарних напрямках.

РН06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

РН12. Здійснювати інтелектуальний аналіз електронних масивів даних для розв'язання конкретних практичних завдань, зокрема побудови нейронних мереж, комп'ютерних систем автоматичного керування, розв'язання задач штучного інтелекту, створення систем інтелектуального керування динамічними об'єктами у реальному часі.

РН13. Здійснювати розроблення нових методів та інтелектуальних засобів для розв'язання прикладних завдань з різних сфер, зокрема, технічної, економічної, екологічної, медичної, біологічної тощо.

РН15.Проводити інтелектуальний аналіз об'єктів різної природи за різними видами первинної інформації (зображення, складні сигнали, тексти, електронні медичні записи, відео та аудіо записи).

РН16. Застосовувати методи побудови систем штучного інтелекту, визначати механізми використання знань про предметну область для виконання прикладних завдань на основі інтелектуальних інформаційних систем різної спрямованості.

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.

Номер лекції	Назва лекції	Кількість годин			
		Лекції	Семінарські /практичні заняття	Індивідуальні заняття	Самостійна робота
<b>ЗМ1: Основи комбінаторики</b>					
1	Основні поняття з комбінаторики та комбінаторної оптимізації. Задачі з комбінаторики, комбінаторної оптимізації, штучного інтелекту та семантики. Комбінаторні конфігурації та їхні властивості.	2	2		10
<b>ЗМ2: Комбінаторні множини та способи їхнього генерування</b>					
3	Структура комбінаторних множин. Властивість періодичності. .	2			4
4	Рекурентно періодичний метод генерування комбінаторних множин	2	2		6
<b>ЗМ3: Моделювання прикладних задач штучного інтелекту з використанням теорії комбінаторної оптимізації</b>					
5	Загальна математична постановка задачі комбінаторної оптимізації,	2	-		10
6	Побудова математичних моделей задач штучного інтелекту (задачі розпізнавання мовлення, клінічної діагностики тощо)	2	2		10
<b>8</b>	<b>Залік</b>				
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>10</b>	<b>6</b>		<b>40</b>

# ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТКА ОПАНУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Основою технологічної карти слугує програмний матеріал дисципліни

## **Змістовий модуль 1. Основи комбінаторики**

Тема 1. Основні поняття з комбінаторики та комбінаторної оптимізації. Задачі з комбінаторики, комбінаторної оптимізації, штучного інтелекту та семантики. Комбінаторні конфігурації та їхні властивості.

Планується подати деякі поняття з комбінаторики, комбінаторної оптимізації семантики та семантичного моделювання. Розглянути задачі, які мають місце в цих галузях: задачі про призначення, комівояжера, кластеризації, розміщення різногабаритних об'єктів, розпізнавання мовлення, задача клінічної діагностики, порівняння текстів на плагіат тощо.

Комбінаторика (комбінаторний аналіз, комбінаторна математика, комбінаторна теорія) – розділ математики, центральною задачею якої є задача вибору і розміщення елементів дискретної, як правило, скінченної множини у відповідності із заданими правилами. Отже, предметом комбінаторики є дослідження і аналіз комбінаторних об'єктів. В ній вивчаються різні їх комбінації, структура множин цих об'єктів, розв'язуються перелічувальні задачі, досліджуються комбінаторні числа, тотожності.

Комбінаторна оптимізація. Поруч із комбінаторними задачами багато задач як практичного так і теоретичного характеру стосуються вибору із множини різних комбінацій заданих об'єктів однієї, яка б оптимально задовольняла поставленим тим чи іншим вимогам. Для оцінки заданих вимог вводиться цільова функція, аргументом якої служить комбінаторна конфігурація певного типу. Вивчення та розв'язання цих задач є предметом комбінаторної оптимізації. Тобто, комбінаторна оптимізація – область математики, предметом якої є дослідження і розв'язання екстремальних задач на скінченній множині комбінаторного характеру.

Аргументом цільової функції в задачах комбінаторної оптимізації, відповідно і штучного інтелекту, є комбінаторні конфігурації. Комбінаторні конфігурації різних типів утворюються трьома рекурентними комбінаторними операторами із елементів заданої базової множини, а їхнє впорядкування також проводиться за трьома правилами. Одні з цих операцій змінюють порядок розміщення в них елементів, інші змінюють їхній склад. Основні типи комбінаторних конфігурацій є перестановки, вибірки, розбиття натурального числа, розбиття заданої множини на підмножини тощо.

Тема 2. Комбінаторні конфігурації в задачах штучного інтелекту.

Переважаюча частина задач штучного інтелекту та семантики при знаходженні оптимального розв'язку потребує перебору варіантів. Перебірним же задачам властива комбінаторна природа. Тому задачі цього класу зводяться до задач комбінаторної оптимізації, а вхідні дані в деяких з них моделюються комбінаторними конфігураціями.

В прикладних задачах штучного інтелекту аргументом цільової функції виступають різні типи вибірок. З поняттям вибірки пов'язують як саму операцію виділення підмножин заданої множини, так і її результат: вибрану підмножину. В подальшому маємо на увазі друге поняття.

Розбиття заданої множини є аргументом цільової функції в задачах розбиття (кластеризації, класифікації тощо), які мають місце в семантиці та штучному інтелекті. В

залежності від поставленої задачі їхня множина може бути як скінченною, так і нескінченною, з повтореннями так і без повторень

В задачах розпізнавання проводиться розпізнавання сигналів різної природи (мовленнєві сигнали, електрокардіограми, електроенцефалограми), які є для них вхідними даними. Ці сигнали описуються комбінаторними конфігураціями, зокрема сполученням з повтореннями, які вносять невизначеність різних видів, що виникає в процесі розв'язання задач штучного інтелекту та пояснюють в них природу нечіткості вхідних даних.

## Змістовий модуль 2. Комбінаторні множини та способи їхнього генерування

### Тема 3. Структура комбінаторних множин. Властивість періодичності.

Комбінаторні множини можуть бути впорядковані як хаотично, так і за строгими правилами. Аналіз цих множин показує, що багато таких впорядкувань проводиться за одними і тими самими процедурами, тобто існують закономірності їхнього генерування. Одна з таких закономірностей, що характерна для багатьох типів комбінаторних конфігурацій, є властивість періодичності, яка впливає з рекурентного способу їхнього утворення. Задача полягає у виявленні та формулюванні загальних правил утворення та впорядкування комбінаторних множин різних типів та різних впорядкувань.

Генерування комбінаторних конфігурацій включає:

а) правила, за якими формуються комбінаторні конфігурації, тобто визначаються рекурентні комбінаторні оператори;

б) правила, за якими упорядковуються комбінаторні конфігурації. Ці правила визначаються на основі аналізу структури певної множини.

Для генерування комбінаторних множин достатньо задати тип комбінаторної конфігурації, базову множину та правила їхнього утворення та впорядкування.

Властивість періодичності упорядкування комбінаторних множин впливає з рекурентного способу утворення комбінаторних конфігурацій та полягає в тому, що ці множини упорядковані інтервалами, в кожному з яких комбінаторні конфігурації утворюються за одними і тими самими правилами.

### Тема 4. Рекурентно періодичний метод генерування комбінаторних множин.

На основі властивості періодичності та оговорених правил розроблено рекурентно-періодичний метод генерування комбінаторних конфігурацій

Для генерування комбінаторних множин з використанням властивості періодичності необхідно сформулювати три правила, за якими утворюються:

а) інтервал нульового рангу;

б) обмежувальна комбінаторна конфігурація (перша в інтервалі нульового рангу) ;

в) інтервал  $r$ -го рангу.

Ці правила справедливі для багатьох впорядкувань комбінаторних конфігурацій різних типів, які мають упорядковану структуру та в основі яких лежить властивість періодичності. Ці правила для різних впорядкувань відрізняються.

## Змістовий модуль 3. Моделювання прикладних задач штучного інтелекту з використанням теорії комбінаторної оптимізації

Тема 5. Загальна математична постановка задачі комбінаторної оптимізації, Цільова функція в задачах штучного інтелекту. Підходи до розв'язання задач комбінаторної оптимізації.

Як правило, задачі комбінаторної оптимізації задаються на одній або кількох множинах, елементи яких мають будь-яку природу. Назвемо ці множини базовими. Наявні два типи задач. В першому типі кожному з цих множин подано у вигляді графа, вершинами якого є її елементи, а кожному ребру поставлено у відповідність число, яке називають

вагою ребра. Між елементами цих множин існують зв'язки, які назвемо вхідними даними і задамо їх матрицями. В другому типі задач між елементами заданої множини зв'язків не існує, а вагами є числа, яким у відповідність поставлено деякі властивості цих елементів, числові значення яких задаються скінченними послідовностями, що також є вхідними даними. Ці величини визначають значення цільової функції.

Для обох типів задач із елементів однієї або кількох базових множин утворюється комбінаторна множина – сукупність комбінаторних конфігурацій певного типу (перестановки, вибірки різних типів, розбиття тощо). На елементах комбінаторної множини вводиться цільова функція. Необхідно знайти такий елемент комбінаторної множини, для якого задана цільова функція набуває екстремального значення при виконанні заданих обмежень.

Критерій – ознаки або властивості, які характеризують певний об'єкт або зв'язки між об'єктами і є вхідними даними.

Цільова функція – вираз, який формулюється на основі заданих критеріїв з урахуванням особливостей задачі, за яким обчислюється і оцінюється результат розв'язку задачі.

Як правило, цільову функцію ототожнюють з критеріями, а за аргумент цільової функції приймають вхідні дані. Але для одних і тих же критеріїв цільову функцію можна змодельовати по-різному, тобто оцінка проводиться за різними виразами і одержується різний результат. Її аргументом є комбінаторні конфігурації різних типів (перестановки, сполучення, розбиття заданої множини на підмножини та ін.).

Тема 6. Метод моделювання прикладних задач штучного інтелекту. Підходи до розв'язання задач штучного інтелекту.

Для моделювання прикладних задач в рамках теорії комбінаторної оптимізації необхідно:

- а) за способом обчислення цільової функції визначити вид задачі (статична або динамічна);
- б) визначити базові множини, якими задається певна задача;
- в) за вхідними даними визначити її тип;
- г) визначити аргумент цільової функції (комбінаторну конфігурацію);
- д) змодельовати цільову функцію.

Аналіз задач з обчислювального інтелекту показує, що вони відносяться як до першого так і до другого типів. Аргументом цільової функції в них виступають комбінаторні конфігурації різних типів, зокрема вибірки (сполучення та розміщення як з повтореннями так і без повторень, розбиття -елементної множини на підмножини тощо). Задачі цього класу можуть бути як статичними так і динамічними.

Для розв'язання задач штучного інтелекту, як правило використовують методи, які ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації. Цей підхід реалізовано в евристичних алгоритмах, генетичних, роєвих та ін.

Тема 7. Побудова математичних моделей задач штучного інтелекту (задач розпізнавання мовлення, клінічної діагностики тощо)

Для розв'язання задач розпізнавання мовлення та клінічної діагностики необхідно провести пошук певного еталону в бібліотеці та порівняти його із вхідними даними (вхідним сигналом, або певними ознаками). Тобто, основна задача розділяється на дві підзадачі. Вхідними даними в ній є інформація, яка поступає на вхід, та еталонна інформація, яка знаходиться в бібліотеці. Для їхнього розпізнавання вводяться міри подібності. В процесі розв'язання задачі значення обчислених мір подібностей є вхідними даними для наступних етапів пошуку оптимального розв'язку. Вони задаються матрицями, а обидві задачі зводяться до першого типу. Аргументом цільової функції в них є різні типи вибірок. За аргументом цільової функції описані задачі є подібними.

## КОНТРОЛЬ І ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Контроль знань аспірантів здійснюється на підставі Положення про організацію та проведення поточного і підсумкового/семестрового контролю результатів навчання здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня.

Контроль знань аспірантів складається з двох складників: поточного і підсумкового/семестрового контролю результатів навчання здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня. Кожний складник оцінюється за стобальною системою.

Загальна оцінка результатів за дисципліною (ЗО) розраховують:

$$ЗО = k_1 * \text{ПоК} + k_2 * \text{ПідК},$$

де  $k_1$ ,  $k_2$  - коефіцієнти переведення балів поточного (ПоК) та підсумкового контролю (ПідК) відповідно;  $k_1 = 0,4$ ,  $k_2 = 0,6$ .

Максимальна кількість балів у поточному контролі встановлюється таким чином:

Види контролю за формами навчальної діяльності	Максимальна сумарна оцінка в балах
- усне опитування (виступ на семінарі тощо) та	65
- активна робота на засіданнях	35
Всього	100

### Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної шкали оцінювання в національну шкалу та шкалу ECTS

За 100-бальною шкалою	За національною шкалою		За шкалою ECTS
	Іспит	Залік	
91 - 100	відмінно	зараховано	<b>A</b> (відмінно)
81 - 90	добре		<b>B</b> (дуже добре)
71 - 80			<b>C</b> (добре)
66 - 70	задовільно		<b>D</b> (задовільно)
60 - 65			<b>E</b> (достатньо)
40 - 59	незадовільно	не зараховано	<b>FX</b> (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 - 39			<b>F</b> (неприйнятно – з обов'язковим повторним навчанням)

## ПОЛІТИКА НАВЧАЛЬНОГО КУРСУ

### *Політика щодо академічної доброчесності*

Дотримання академічної доброчесності здобувачами передбачає, зокрема:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);
- посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей інших дослідників;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;
- надання достовірної інформації про результати власної (наукової, творчої) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

### *Політика щодо відвідування занять та поведінки на заняттях*

Відвідування занять є обов'язковим компонентом навчання. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування тощо) навчання може відбутись в он-лайн

формі за погодженням із викладачем навчальної дисципліни та затвердженням директора Міжнародного центру.

*Політика щодо правил поведінки на заняттях*

Здобувачі вищої освіти третього рівня беруть активну участь у всіх заняттях: обговорюють проблемні ситуації, запропоновані викладачем на лекціях; активно включаються і за потреби ініціюють спільну (групову роботу) під час семінарських занять. Спілкування учасників освітнього процесу (викладач, здобувачі) відбувається на засадах партнерських стосунків, взаємодопомоги, толерантності та поваги до особистості кожного, спрямованості на здобуття істинного наукового знання.

*Політика щодо термінів виконання завдань і перескладання*

Здобувачі вищої освіти третього рівня повинні виконувати всі навчальні завдання вчасно, відповідно до робочої навчальної програми, за невчасне виконання знижується бальна оцінка. Графіки перескладання формують викладачі відповідних дисциплін.

Виконання навчальних завдань має відповідати вимогам «Кодексу академічної доброчесності Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України, затвердженого вченою радою Міжнародного центру 20.01.2022 року, протокол № 1.

## **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

### **Базова:**

1. Papadimitriou N., Steiglitz K Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity. Dover publications, inc, 1982. ISBN: 0-13-152462-3.
2. Тимофієва Н.К., Гриценко В.И Аргумент цільової функції в задачі клінічної діагностики. *УСiМ*. 2012. № 3. С.3 – 14.
3. Тимофієва Н.К., Гриценко В.И Комбінаторика в задачах штучного інтелекту. *УСiМ* 2017. № 2 – С.6– 19.
4. Тимофієва Н.К Про деякі підходи до оцінки оптимального розв'язку задач комбінаторної оптимізації. Системи керування та комп'ютери (УСiМ, Control systems & computers) // 2019, №3(281). С. 3–13.

### **Допоміжна література**

1. Nils J. Nilsson. Artificial Intelligence. Problem-solving methods in artificial intelligence. 1969