

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

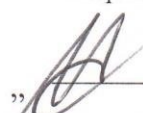
Факультет комп'ютерних наук

Кафедра комп'ютерної інженерії

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

Іщенко Н.М.

“ ”  2019 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ


Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Розглянуто на засіданні
кафедри комп'ютерної інженерії
№9 «28.05.2019р.»

Розробник:

В.Я. Кутковецький 


✓ Зав. кафедрою розробника:

О.В. Дворник 

✓ Зав. кафедрою спеціальності:

О.В. Дворник 

✓ Декан факультету:

А.П. Бойко 

✓ Начальник НМВ:

В.І. Калініченко 

Миколаїв – 2019 рік

Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Характеристика дисципліни	
Найменування дисципліни	Теорія та методи оптимізації	
Галузь знань	12 Інформаційні технології	
Спеціальність	123 Комп'ютерна інженерія	
Спеціалізація (якщо є)	-	
Освітня програма	Комп'ютерна інженерія	
Рівень вищої освіти	PhD	
Статус дисципліни	Вибіркова	
Курс навчання	3	
Навчальний рік	2020-2021	
Номер(и) семестрів (триместрів):	Денна форма 6-й	Заочна форма
Загальна кількість кредитів ЄКТС/годин	4 кредити / 120 годин	
Структура курсу: – лекції – групові заняття – пів групові заняття – самостійна робота студентів – курсова робота	Денна форма	
	10	
	30	
	–	
	80	
–		
Відсоток аудиторного навантаження	33 %	
Мова викладання	Українська	
Форма проміжного контролю (якщо є)	–	
Форма підсумкового контролю	Залік	

1. Мета, завдання та результати вивчення дисципліни

Навчальна дисципліна «Теорія та методи оптимізації» є складовою циклу професійної підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня «доктор філософії». Важливим моментом викладання дисципліни стає завдання адекватного представлення нових напрямків аналізу інтелектуальних систем.

Метою курсу є поглиблення знань учнів про стан практичного застосування дисципліни «Теорія та методи оптимізації», ознайомити їх із актуальними тенденціями розвитку, представити перспективи розвитку сучасних моделей.

Завдання вивчення навчальної дисципліни:

- дати відстані Евкліда, Манхеттена, Чебишева, Махаланобіса, Хеммінга;
- пояснити близькість по Хеммінгу та за скалярним добутком;
- дати групування об'єктів з цифровими ознаками по середньоквадратичному розкиду;
- дати поняття зважених відстаней;
- сформуванати у учнів уявлення про основні теоретичні припущення сучасної теорії оптимізації і пов'язаних дисциплін (теорії прийняття рішень);
- систематизувати знання учнів з класичних сучасних теорій прийняття рішень;
- розвинути у учнів здатність бачити зв'язки між різними теоріями та напрямками;
- навчити використовувати концептуальний апарат в теоретичному аналізі.

Передумови вивчення дисципліни.

Попередні вимоги до опанування навчальної дисципліни:

- засвоїти теоретичні та практичні засоби групування об'єктів;
- знати основні етапи оптимізації;
- вміти працювати з науковою літературою та першоджерелами;
- володіти методами аналізу інтелектуальних систем, понятійним апаратом оптимізації.

Очікувані результати навчання:

В результаті вивчення навчальної дисципліни учень *має знати:*

- математичні основи групування об'єктів;
- структуру та зміст сучасної інтелектуальної системи оптимізації;
- найважливіші напрямки сучасної групування образів за їх ознаками; - теоретичні основи визначення відстаней між об'єктами;
- концептуальний апарат новітніх вимірів відстаней; *має вміти:*
- орієнтуватися в основних проблемних питаннях визначення цифрових ознак образів;
- робити аналіз інтелектуальних технічних, фінансових, суспільних систем за допомогою різноманітних теоретичних моделей при визначенні цифрових ознак образів;
- будувати теоретичні моделі інтелектуальних систем;
- використовувати сучасні концепції, підходи та теорії інтелектуальних систем на практиці.

2. Програма навчальної дисципліни

2.1. Денна форма

№ з/п	Теми	Лекції	Практичні (групові)	Самостійна робота
1	Тема 1. Загальні проблеми визначення образів.	4	4	15
	Тема 2.Інтелектуальні методи розпізнавання образів	6	26	65
	Всього за дисципліною	10	30	80

3. Зміст навчальної дисципліни

3.1.1. План лекцій

Денна форма навчання – 10 годин лекцій.

№	Тема заняття / план
1	<u>Тема 1. Загальні проблеми визначення образів.</u> Лекція 1. Класифікація систем розпізнавання образів. Ознаки об'єкта. Відстань та близькість між двома об'єктами. Середньоквадратичний розкид між групами об'єктів. [5, с.9], [5, с. 57 -67].
2	<u>Тема 2. Інтелектуальні методи розпізнавання образів</u> Лекція 2. Приклад використання вирішальних функцій та вирішальних правил. Апаратна реалізація системи розпізнавання образів з використанням вирішальних функцій та вирішальних правил. [5, с.64-65], [11-13].
3	Лекція 3. Вирішальні функції та вирішальні правила для складного розміщення класів. Кластеризація. Адаптивний лінійний нейрон Adaline. [5, с.49-56; с. 70 -80].
4	Лекція 4. Логічні функції AND, OR і XOR на нейроні Adaline. Логічна функція OR на одному нейроні. Навчання нейронної мережі [5, с.76-89].
	Теорія однозначної нечіткої логіки та її переваги.
5	Лекція 5. Класифікація штучних нейронних мереж. Нейронні мережі Хопфилда, Хемминга, Миколаїв [5, с.103-114].
6	Лекція 6. Мережі Кохонена для кластер - аналізу та класифікації без учителя. Теорія кластерів тілесних кутів на основі аналітичної геометрії Т-кутів. Тілесні, об'єктні, структурні та організаційні кластери. Переваги Т-кластерів над мережею Кохонена. [5, с.115-116].

№	Тема заняття / план
7	<u>Лекція 7.</u> Початкові відомості з теорії статистичних рішень. Визначення коефіцієнта правдоподібності з врахуванням ризику рішення для одномірних образів двох класів. Використання формули Байєса для розпізнавання хвороб. Використання формули Байєса для прогнозування дощу. [5, с.148-150].
8	<u>Лекція 8.</u> Загальні відомості по структурному (лінгвістичному) методу розпізнавання. Формальні граматики структурного методу. Виведення граматик. [7, с.4-67], [5, с. 161 -169]. Приклади використання структурного методу розпізнавання образів. [5, с.170-174].

3.1.2. План семінарських занять

Денна форма навчання 30 годин занять на 1 групу.

№	Тема заняття / план
1	На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону. На довільній алгоритмічній мові навести програму реалізації системи розпізнавання 100 образів.
2	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.
3	На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів. На довільній алгоритмічній мові навести програму реалізації системи розпізнавання 100 образів.
4	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.
5	Навести апаратну реалізацію нейрона Adaline $u=5x_1+Nx_2-Nx_3-47 \geq 0$.
6	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.

7	На площині ознак $X_1=0...N$, $X_2=0...N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести на однакових відстанях між ними три довільні паралельні прямі лінії та визначити її математичний опис для нейрону <i>Adaline</i> . Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на 4 класи та схеми відповідних нейронів <i>Adaline</i> . Показати, як в площині 2-х змінних замінити одним нейроном Троянда три нейрони <i>Adaline</i> . Привести структурну схему нейрона Троянда (<i>Adaline</i> та). Дати порівняльний аналіз нейронів Троянда та <i>Adaline</i> та). Написати вирішальні правила для нейрона Троянда.
8	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.
9	На площині ознак $X_1=0..2N$, $X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) дати лінгвістичний та математичний опис однозначній нечіткій системі розпізнавання образів. Кожну ось розділити на дві частки і задати в опорних точках числові значення виходів. Вагові коефіцієнти нейронів отримати за методом найменших квадратів.
10	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.
11	Визначити вагові коефіцієнти нейронної мережі Хопфілда для двох еталонних студентом довільних векторів 5-го порядку, які складаються з « ± 1 » (приклад еталонів: $X^T_1=\{-1+1-1-1+1\}$ та $X^T_2=\{1+1-1-1-1\}$, $X^T_3=\{+1-1-1+1+1\}$).
12	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.
13	Нейронні системи: в системі координат ($X_1=0..2N$, $X_2=0..2N$) задані виходи <i>NET</i> двох нейронів $u_1=NET_1=X_1+0,5X_2-2N>0$ та $u_2=NET_2=X_1+X_2+0,2N<0$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти отримати апаратну реалізацію (електричну схему) нейронної системи.
14	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.
15	Консультація. Оформлення звіту. Звітування.

3.3. Завдання для самостійної роботи

ТЕМАТИКА САМОСТІЙНИХ РОБІТ

№	Тема заняття / план
	<u>1. Дані та датчики для систем розпізнавання образів</u>

1	СЛОВО, як ідеальна та матеріальна основа представлення знань.
2	Онтологія.
3	Тезаурус - словник представлення знань.
4	Необхідність зовнішніх та внутрішніх знань.
5	Якісний опис задачі оптимізації.
6	Технічні датчики для вимірювання ознак реальних об'єктів.
7	Людина як технічний датчик.
8	Людина як датчик ознакабстрактного образу.
9	Ознаки як зв'язки та відношення між інформаційними одиницями.
10	Алгоритми дослідження психічної діяльності людини.
11	Попередня обробка сигналів: нормалізація, квантування, фільтрація, диференціювання, фрагментизація, об'єднання ознак.
	<u>2. Обробка сигналів</u>
12	Перетворення ознак образів у коди.
13	Різницевий метод кодування сигналів.
14	Перетворення аналогового сигналу у код.
15	Кодування та визначення міри близькості між об'єктами з ознаками "1" та "0".
16	Кодування та визначення міри близькості між списками з цифровими компонентами.
17	Класифікація систем оптимізації.
18	Ознаки об'єкту.
	<u>3. Групування об'єктів</u>
19	Відстань та близькість між двома об'єктами.
20	Середньоквадратичний розкид між групами об'єктів.
21	Приклад використання вирішальних функцій та вирішальних правил.
22	Апаратна реалізація системи оптимізаціїз використанням вирішальних функцій та вирішальних правил.
23	Вирішальні функції та вирішальні правила для складного розміщення класів.
24	Кластеризація на основі даних тілесних та об'єктних кластерів.
25	Кластеризація на основі «метода ключових слів» та досягнень онтології і тезаурусу.
26	Поетапний генетичний алгоритм.
27	Генетичні алгоритми на основі генної інженерії та еволюційне програмування.

	<u>4. Системантика.</u>
28	Системантика. Визначення простих, великих і складних систем.
29	Системантика. Типізація, конкретизація, узагальнення та спеціалізація понять.
30	Системантика. Агрегація і декомпозиція понять.
31	Системантика. Асоціація та індивідуалізація понять.
	<u>5. Прості методи розпізнавання</u>
32	Загальні відомості про прості методи розпізнавання
33	Метод суміщення з еталоном
34	Метод опорного словника
35	Метод зондів
36	Метод еталонів, що “дробляться”
37	Квазітопологічний метод
38	Метод маркування зображення
39	Використання магнітних чорнил.
40	Розпізнавальна система “Альфа”
	<u>6. Нейрони.</u>
41	Загальні відомості про нейрони.
42	Адаптивний лінійний нейрон Adaline.
43	Логична функція AND на нейроні Adaline.
44	Логичні функції OR і XOR на нейроні Adaline.
45	Навчання нейронної мережі з нейронів Adaline.
46	Необхідність нелінійних виходів нейронів.
47	Нейрон «Троянда».
48	Розділ перцептроном простору ознак.
49	Нейронна мережа для керування судновою електроенергетичною системою.
50	Класифікація штучних нейронних мереж.
	<u>7. Основні нейронні мережі</u>
51	Нейронна мережа Хопфилда.
52	Нейронна мережа Хемминга.
53	Мережі Кохонена для кластер-аналіза та класифікації без учителя.
	<u>8. Статистичні рішення.</u>
54	Початкові відомості з теорії статистичних рішень.

55	Визначення коефіцієнта правдоподібності з врахуванням ризику рішення для одномірних образів двох класів.
56	Байєсовий вивід в інтелектуальних системах: умовні ймовірності.
57	Теорема Байєса.
58	Використання Байєсової формули для оптимізації.
59	Використання формули Байєса для розпізнавання хвороб.
60	Використання формули Байєса для прогнозування дощу.
	<u>9. Однозначні нечіткі системи.</u>
61	Теорія однозначних нечітких систем.
62	Класифікація та оптимізації за допомогою нечітких систем.
	<u>10. Структурний (лінгвістичний) метод розпізнавання.</u>
63	Загальні відомості по структурному (лінгвістичному) методу розпізнавання.
64	Формальні граматики структурного методу.
65	Виведення граматик.
66	Приклади використання структурного методу оптимізації.
	<u>11. Метод потенціалів.</u>
67	Потенціали у просторі цифрових ознак.
68	Двоїсті значення потенціалів рецепторів у просторі зображення.
69	Дробові значення потенціалів рецепторів у просторі зображення.
70	Колектив вирішальних правил.

ТИПОВІ ДОДАТКОВІ ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Загальні запитання для денної форми навчання

1. На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.
2. На площині ознак $X_1=0..2N, X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.
3. На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.
4. На площині ознак $X_1=0..2N, X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.

5. На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..3N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.

6. На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

7. На площині ознак $X_1=0..2N, X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

8. На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

9. На площині ознак $X_1=0..2N, X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

10. На площині ознак $X_1=0..N, X_2=0..3N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

11. Навести апаратну реалізацію нейрона $Adaline_{u \square 5x_1 \square 3x_2 \square x_3 \square 47 \square 0}$. Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{N, 4, 2\}$ до одного з двох класів та скласти довільну програмну реалізацію активаційної функції з трьох прямих ліній.

12. Навести апаратну реалізацію нейрона $Adaline_{u \square 32x_1 \square 8x_2 \square 2x_3 \square 60 \square 0}$.

Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{5, N, 1\}$ до одного з двох класів та до довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

13. Навести апаратну реалізацію нейрона $Adaline_{u \square 2x_1 \square x_2 \square 6x_3 \square 25 \square 0}$.

Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{N, 3, N\}$ до одного з двох класів та до довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

14. Навести апаратну реалізацію нейрона $Adaline_{u \square 10x_1 \square 9x_2 \square 4x_3 \square 120 \square 0}$.

Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{1, 2, N\}$ до одного з двох класів та до довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

15. Навести апаратну реалізацію нейрона $Adaline_{u \square 15x_1 \square 6x_2 \square 4x_3 \square 55 \square 0}$.

Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{N, N, 2\}$ до одного з двох класів та до довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

16. Дати порівняльний аналіз нейронних мереж Хопфілда та Ліпмана-Хеммінга.

17. Дати порівняльний аналіз нейронів *Adaline* та «Троянда».

18. Дати порівняльний аналіз релейної системи автоматичного регулювання з нейронною системою з самонавчанням.

19. Дати порівняльний аналіз комп'ютера з нейрокомп'ютером.
20. Розрахувати вагові коефіцієнти нейронної мережі Хопфілда для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{+1+1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1-1+1\}$.
21. Розрахувати вагові коефіцієнти нейронної мережі Хопфілда для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{-1-1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{+1+1-1+1+1\}$.
22. Розрахувати вагові коефіцієнти нейронної мережі Хопфілда для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{-1-1-1+1-1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1+1+1\}$.
23. Визначити вагові коефіцієнти нейронної мережі Хопфілда для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{+1+1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1-1+1\}$.
24. Визначити вагові коефіцієнти нейронної мережі Хопфілда для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{+1-1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1-1-1-1+1\}$.
25. Визначити вагові коефіцієнти нейронної мережі Хопфілда для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{-1+1-1-1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1-1-1\}$.
26. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи NET двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + X_2 - 2N > 0$ та $u_2 = NET_2 = X_1 + X_2 + 0, 2N < 0$ при $X_1 = 0..2N, X_2 = 0..2N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
27. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи NET двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0$ та $u_2 = NET_2 = X_1 + X_2 + 0, 2N < 0$ при $X_1 = 0..2N, X_2 = 0..2N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
28. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи NET двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0, u_2 = NET_2 = X_2 - 2N < 0$ та $u_3 = NET_3 = X_1 + X_2 + 0, 2N < 0$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
29. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи NET двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0$ та $u_2 = NET_2 = X_1 + X_2 + 0, 2N < 0$ при $X_1 = 0..2N, X_2 = 0..2N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
30. В системі координат (X_1, X_2) задані виходи NET двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0, u_2 = NET_2 = X_2 - 2N < 0$ та $u_3 = X_1 + X_2 + 0, 2N < 0$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
31. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1 = N, X_2 = N$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$) площа ознак розділена на чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.
32. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1 = 2N, X_2 = N$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$) площа ознак розділена на чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.
33. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1 = N, X_2 = 2N$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$) площа ознак розділена на чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.

34. В системі координат (X_1, X_2) двомавзаємноперпендикулярнимилініями (якіпересікаються в точці $X_1=2N, X_2=3N$ при $X_1=0..4N, X_2=0..4N$) площаознакрозділена на чотиричастини – чотирикласи. Навести відповіднунейронну систему. Визначитивирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.

35. В системі координат (X_1, X_2) двомавзаємноперпендикулярнимилініями (якіпересікаються в точці $X_1=3N, X_2=2N$ при $X_1=0..5N, X_2=0..4N$) площаознакрозділена на чотиричастини – чотирикласи. Навести відповіднунейронну систему. Визначитивирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.

36. Виконати програмну реалізацію нейронної мережі для розпізнавання об'єктів з двома числовими ознаками $X_1 = 0..N; X_2 = 0..N$ (N - порядковий номер студента у групі; у програмі використовувати число замість загального позначення N). Використати два нейрони з лінійною залежністю NET, які розділяють простір ознак у вигляді літери «X» на 4 класи. Використати 20 еталонних пар для навчання мережі. Навчену мережу використати для розпізнавання 100 об'єктів з випадковим визначенням їх характеристик. На екран вивести: вирішальні функції двох нейронів; 100 точок для розпізнавання; кількість об'єктів, яка приходить на кожний клас.

37. Розробка власної системи нечіткої логіки з виходом у залежності від двох вхідних змінних $X_1 = 0..N; X_2 = 0..N$ (N - порядковий номер студента у групі; у програмі використовувати число замість загального позначення N). На кожній координаті $(X_1; X_2)$ розглядаються не менше ніж три значення кожної лінгвістичної змінної: «Мале», «Середнє», «Велике». Для одного інформаційного модуля визначити дві формули апроксимації (без дефазифікації): інтерполяційну формулу розрахунку виходу з використанням функцій належностей та формулу без використання функцій належностей (за методом найменших квадратів). Порівняти значення двох формул у кутових точках інформаційного модуля та у довільній точці «А» у площині інформаційного модуля. Перевести числове значення виходу точки «А» у лінгвістичне значення з вказівкою значення функції впевненості.

38. Кодування та визначення міри близькості між списками з цифровими компонентами.

39. Апаратна реалізація системи РО з використанням вирішальних функцій та вирішальних правил.

40. Алгоритм зворотного розповсюдження помилки (back-propagation).

41. Двоїсті та дробові значення потенціалів рецепторів у просторі зображення.

42. Система розпізнавання образів для мережі Байеса з використанням трьох вершин.

Питання підсумкового контролю

Модуль 1. Визначення ознак образів

Тема 1. Загальні проблеми визначення образів

1. СЛОВО, як ідеальна та матеріальна основа представлення знань.
2. Онтологія.
3. Тезаурус - словник представлення знань.
4. Необхідність зовнішніх та внутрішніх знань.
5. Якісний опис задачі розпізнавання образів.

Тема 2. Визначення ознак образу

6. Технічні датчики для вимірювання ознак реальних об'єктів.
7. Людина як технічний датчик.
8. Людина як датчик ознак абстрактного образу.
9. Ознаки як зв'язки та відношення між інформаційними одиницями.

10. Алгоритми дослідження психічної діяльності людини.

Тема 3. Переробка та кодування ознак образів, отриманих від датчиків

11. Попередня обробка сигналів: нормалізація, квантування, фільтрація, диференціювання, фрагментизація, об'єднання ознак.

12. Перетворення ознак образів у коди.

13. Різницевий метод кодування сигналів.

14. Перетворення аналогового сигналу у код.

15. Кодування та визначення міри близькості між об'єктами з ознаками "1" та "0".

16. Кодування та визначення міри близькості між списками з цифровими компонентами.

Модуль 2. Відстані між образами та кластеризація

Тема 4. Визначення відстаней між образами та кластеризація

17. Класифікація систем розпізнавання образів.

18. Ознаки об'єкту.

19. Відстань та близькість між двома об'єктами.

20. Середньоквадратичний розкид між групами об'єктів.

21. Приклад використання вирішальних функцій та вирішальних правил.

22. Апаратна реалізація системи розпізнавання образів з використанням вирішальних функцій та вирішальних правил.

23. Вирішальні функції та вирішальні правила для складного розміщення класів.

24. Кластеризація на основі теорії грубих множин.

25. Кластеризація на основі «метода ключових слів» та досягнень онтології і тезаурусу.

26. Інженерія знань.

27. Генетичні алгоритми та еволюційне програмування.

28. Системантика. Визначення простих, великих і складних систем.

29. Системантика. Типізація, конкретизація, узагальнення та спеціалізація понять.

30. Системантика. Агрегація і декомпозиція понять.

31. Системантика. Асоціація та індивідуалізація понять.

Модуль 3. Прості методи класифікації образів.

Тема 5. Прості методи класифікації образів

32. Загальні відомості про прості методи розпізнавання

33. Метод суміщення з еталоном

34. Метод опорного словника

35. Метод зондів

36. Метод еталонів, що "дробляться"

37. Квазітопологічний метод

38. Метод маркування зображення

39. Використання магнітних чорнил.

40. Розпізнавальна система "Альфа"

Тема 6. Загальні відомості про нейрони

41. Загальні відомості про нейрони.

Тема 7. Адаптивний лінійний нейрон Adaline

42. Адаптивний лінійний нейрон Adaline.

43. Логична функція AND на нейроні Adaline.
 44. Логичні функції OR і XOR на нейроні Adaline.

Тема 8. Навчання нейронів

45. Навчання нейронної мережі з нейронів Adaline.
 46. Необхідність нелінійних виходів нейронів.

Тема 9. Розділ простору рішень на частки нейроном

"Троянда"

47. Нейрон «Троянда».

Тема 11. Загальні питання нейронних мереж

48. Розділ перцептроном простору ознак.
 49. Нейронна мережа для керування судновою електроенергетичною системою.

50. Класифікація штучних нейронних мереж.

Тема 12. Основні нейронні мережі

51. Нейронна мережа Хопфилда.
 52. Нейронна мережа Хеммінга.
 53. Мережі Кохонена для кластер-аналіза та класифікації без учителя.

Тема 13. Ймовірнісний метод РО

54. Початкові відомості з теорії статистичних рішень.
 55. Визначення коефіцієнта правдоподібності з врахуванням ризику рішення для одномірних образів двох класів.

56. Байєсовий вивід в інтелектуальних системах: умовні ймовірності.

57. Теорема Байєса.

58. Використання Байєсової формули для розпізнавання образів.

59. Використання формули Байєса для розпізнавання хвороб.

60. Використання формули Байєса для прогнозування дощу.

Тема 14. Однозначні нечіткі системи

61. Теорія однозначних нечітких систем.

62. Класифікація та розпізнавання образів за допомогою нечітких систем.

Тема 15. Структурний (лінгвістичний) метод розпізнавання

63. Загальні відомості по структурному (лінгвістичному) методу розпізнавання.

64. Формальні граматики структурного методу.

65. Виведення грамматик.

66. Приклади використання структурного методу розпізнавання образів.

Тема 16. Метод потенціалів

67. Потенціали у просторі цифрових ознак.

68. Двоїсті значення потенціалів рецепторів у просторі зображення.

69. Дробові значення потенціалів рецепторів у просторі зображення.

Тема 17. Деякі напрямки розвитку систем РО

70. Колектив вирішальних правил.

71. Алгоритми виявлення асоціацій.

Додаткові питання по нейронах

1. На площині ознак $X_1=0..N$, $X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.

2. На площині ознак $X_1=0..2N$, $X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.

3. На площині ознак $X_1=0..N$, $X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.

4. На площині ознак $X_1=0..2N$, $X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.

5. На площині ознак $X_1=0..N$, $X_2=0..3N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести довільну пряму лінію та визначити її математичний опис. Навести вирішальну функцію, вирішальні правила розділу об'єктів на два класи та схему відповідного нейрону.

6. На площині ознак $X_1=0..N$, $X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

7. На площині ознак $X_1=0..2N$, $X_2=0..N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

8. На площині ознак $X_1=0..N$, $X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

9. На площині ознак $X_1=0..2N$, $X_2=0..2N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

10. На площині ознак $X_1=0..N$, $X_2=0..3N$ (N – порядковий номер студента в групі) провести дві довільні прямі лінії, які нагадують літеру «X», та визначити їх математичний опис. Навести вирішальні функції, вирішальні правила розділу об'єктів на чотири класи та схеми відповідних нейронів.

11. Навести апаратну реалізацію нейрона Adaline $u \square 5x_1 \square 3x_2 \square x_3 \square 47 \square 0$. Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{N, 4, 2\}$ до одного з двох класів та довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

12. Навести апаратну реалізацію нейрона Adaline $u \square 32x_1 \square 8x_2 \square 2x_3 \square 60 \square 0$. Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{5, N, 1\}$ до одного з двох класів та довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

13. Навести апаратну реалізацію нейрона Adaline $u \square 2x_1 \square x_2 \square 6x_3 \square 25 \square 0$. Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{N, 3, N\}$ до одного з двох класів та довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

14. Навести апаратну реалізацію нейрона Adaline $u \square 10x_1 \square 9x_2 \square 4x_3 \square 120 \square 0$. Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \square \{1, 2, N\}$ до одного з двох класів та довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

15. Навести апаратну реалізацію нейрона Adaline $u \square 15x_1 \square 6x_2 \square 4x_3 \square 55 \square 0$. Скласти частку програмної реалізації нейрону: використати логічні умови віднесення

одного об'єкта $\{x_1, x_2, x_3\} \in \{N, N, 2\}$ до одного з двох класів та довільну активаційну функцію з трьох прямих ліній.

16. Дати порівняльний аналіз нейронних мереж Хопфілда та Ліпмана-Хеммінга.
17. Дати порівняльний аналіз нейронів *Adaline* та «Троянда».
18. Дати порівняльний аналіз релейної системи автоматичного регулювання з нейронною системою з самонавчанням.
19. Дати порівняльний аналіз комп'ютера з нейрокомп'ютером.
20. Розрахувати вагові коефіцієнти нейронної мережі Кохонена для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{+1+1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1-1+1\}$.
21. Розрахувати вагові коефіцієнти нейронної мережі Кохонена для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{-1-1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{+1+1-1+1+1\}$.
22. Розрахувати вагові коефіцієнти нейронної мережі Кохонена для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{-1-1-1-1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1+1+1\}$.
23. Визначити вагові коефіцієнти нейронної мережі Хеммінга для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{+1+1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1-1+1\}$.
24. Визначити вагові коефіцієнти нейронної мережі Хеммінга для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{+1-1-1+1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1-1-1-1+1\}$.
25. Визначити вагові коефіцієнти нейронної мережі Хеммінга для двох еталонних векторів $X^T_1 = \{-1+1-1-1+1\}$ та $X^T_2 = \{-1+1-1-1-1\}$.
26. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи *NET* двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + X_2 - 2N > 0$ та $u_2 = NET_2 = X_1 + X_2 + 0,2N < 0$ при $X_1 = 0..2N, X_2 = 0..2N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
27. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи *NET* двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0$ та $u_2 = NET_2 = X_1 + X_2 + 0,2N < 0$ при $X_1 = 0..2N, X_2 = 0..2N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
28. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи *NET* двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0, u_2 = NET_2 = X_2 - 2N < 0$ та $u_3 = NET_3 = X_1 + X_2 + 0,2N < 0$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
29. Нейронні системи: в системі координат (X_1, X_2) задані виходи *NET* двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0$ та $u_2 = NET_2 = X_1 + X_2 + 0,2N < 0$ при $X_1 = 0..2N, X_2 = 0..2N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
30. В системі координат (X_1, X_2) задані виходи *NET* двох нейронів $u_1 = NET_1 = X_1 + 0,5X_2 - 2N > 0, u_2 = NET_2 = X_2 - 2N < 0$ та $u_3 = X_1 + X_2 + 0,2N < 0$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$. Визначити вирішальні правила для розпізнавання класів. Визначити вагові коефіцієнти нейронів і скласти електричну схему нейронної системи.
31. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1 = N, X_2 = N$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$) площа ознак розділена на чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.
32. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1 = 2N, X_2 = N$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$) площа ознак розділена на чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.
33. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1 = N, X_2 = 2N$ при $X_1 = 0..3N, X_2 = 0..3N$) площа ознак розділена на

чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.

34. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1=2N, X_2=3N$ при $X_1=0..4N, X_2=0..4N$) площа ознак розділена на чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.

35. В системі координат (X_1, X_2) двома взаємно перпендикулярними лініями (які пересікаються в точці $X_1=3N, X_2=2N$ при $X_1=0..5N, X_2=0..4N$) площа ознак розділена на чотири частини – чотири класи. Навести відповідну нейронну систему. Визначити вирішальні правила для розпізнавання 4-х класів.

Вимоги до оформлення групових робіт

Зміст групової роботи повинен відповідати темі, зазначеній у заголовку. Обсяг групової роботи може становити до 3-5 аркушів формату А4 друкованого тексту. Кількість опрацьованої літератури – не менше ніж 1 джерело.

У найбільш розповсюдженому вигляді план групової роботи складається з титульного аркуша; із завдання на роботу; з математичної моделі задачі; з виконання задачі; з наведеної відповіді; з списку використаної літератури. Сторінки групової роботи мають бути пронумеровані (на першому аркуші номер сторінки не ставлять).

Висновок групової роботи складається з розрахованих числових даних і повинен бути коротким. Список літератури (1, 2 назви) повинен бути описаним згідно діючих правил бібліографічного опису в Україні. Посилання на літературу вміщуються в тексті групової роботи у квадратних дужках, де вказується порядковий номер джерела у списку літератури, через кому – сторінка, на яку є посилання (наприклад, [5, с. 15]; але сторінки літератури вказувати не обов'язково). Оформлення групової роботи: а) 1-й аркуш – титульний;

б) нумерація сторінок починається з титульної, але на ній номер сторінки не ставиться;

в) у кінці роботи розміщується список використаної літератури;

г) завдання на роботу; опис математичної моделі задачі; розрахунок задачі; наведена відповідь; список використаної літератури – все це потрібно починати з нового абзацу. Окремі назви розділів звичайно не наводяться.

При оцінці групової роботи беруться до уваги: а) вчасність виконання роботи; б) повнота звіту групової роботи;

г) грамотність, фахова мова, дотримання стандартів;

д) відповідність оформлення групової роботи до поданих вимог.

4. Підсумковий контроль

Підсумковий контроль проводиться у відповідності з навчальним планом у формі заліку. Залік з даної дисципліни має на меті перевірку знань з теорії і виявлення навичок застосування отриманих знань при вирішенні практичних завдань, а також навичок самостійної роботи з навчальною і науковою літературою. Залік проходить в усній формі або за білетами.

ПИТАННЯ ДО ІСПИТУ

Немає іспиту. Є залік.

Критерії оцінки знань на заліку

Виходячи з поставлених цілей і індивідуальних особливостей учня необхідно враховувати:

- правильність і усвідомленість викладання матеріалу, повноту розкриття понять і закономірностей, точності вживання професійної термінології;
- самостійність відповіді;
- логічність, доказовість при вивченні матеріалу;
- ступінь сформованості інтелектуальних, загальнонаукових, специфічних знань і умінь.

Оцінка «відмінно» – відповідь повна, правильна, свідчить про засвоєння основного матеріалу курсу;

- правильно розкрито зміст понять дисципліни, закономірності її розвитку;
- правильно використані різні джерела знань;
- відповідь самостійна, ґрунтується на знаннях, що вже засвоєні і допоміжних відомостях.

Оцінка «добре» – відповідь відповідає раніше переліченим вимогам, вона повна, правильна;

- нечітко викладається основний матеріал або висновки, що легко виправляється за допомогою питань викладача.

Оцінка «задовільно» – відповідь правильна, матеріал, в основному, засвоєно, але нечітко визначені поняття та закономірності:

- відсутнє повне вміння самостійно пояснити взаємозв'язки, непослідовно викладено матеріал.

Оцінка «незадовільно» – відповідь неправильна;

- не розкрито основний зміст учбового матеріалу, не додаються відповіді на допоміжні питання викладача, мають місце помилки у визначенні понять.

5. Критерії оцінювання знань на заліку

№	Вид діяльності (завдання)	Максимальна кількість балів
1	Відповіді на семінарах	40
2	Презентація власного дослідження	30
3	Залік	30
	Всього	100

Критерії оцінювання завдань для досягнення максимальної кількості балів здійснюється шляхом проведення:

- заліку (30 балів);
- оцінювання групової роботи та відповіді на семінарах (70 балів).

Якщо робота виконана на англійській мові, то її оцінка підвищується (з розрахунку 10 додаткових балів по 100-бальній шкалі за всі роботи).

Дисципліна праці: оцінка за роботу ставиться по п'ятибальній шкалі і знижується на одиницю при запізненні здачі роботи на кожному наступному тижні (після перших 2-х тижнів з моменту отримання завдання групою).

0-й Варіант залікового білету

Немає екзамену. Є заліки.

6. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Захарчук В. І. Методи оптимізації і комп'ютерні технології. Луцьк : Луцький нац. техн. ун-т, 2017. 144 с.
2. Кутковецький В. Я. Розпізнавання образів : навч. посібник. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2017. 420 с.
3. Методи оптимізації та дослідження операцій : навчальний посібник /Укладачі: Я. Б. Сікора, А. Й. Щехорський, Б. Л. Якимчук. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. 148 с.
4. Панченко С. В., Медиченко М. П., Лисечко В. П. Методи оптимізації та моделювання : навч. посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2015. Ч.1. 128 с.
5. Яровий А. Т., Страхов Є. М. Методи оптимізації та варіаційне числення : навч.-метод. посіб. ; ОНУ ім. І. І. Мечникова. Одеса : Освіта України, 2017. 153 с.

Додаткова література

6. Погореленко А. К. Штучний інтелект: сутність, аналіз застосування, перспективи розвитку. Вісник ХДУ. 2018. № 32.
7. Кутковецький В. Я., Турти М. В. Нейрон «Троянда 4». Патент України на корисну модель № 96454, 10.02.2015, Бюл. № 3. 6 с.
8. Кутковецький В. Я., Турти М. В. Спосіб навчання нейронної мережі. Патент України на корисну модель № 96456, 10.02.2015, Бюл. №3. 7 с.
9. Кутковецький В. Я., Турти М. В. Кластерний спосіб навчання нейронної мережі. Патент України на корисну модель № 96457, 10.02.2015, Бюл. №3. 8 с.
10. Кутковецький В. Я., Турти М. В. Нечітка нейрона мережа. Патент України на корисну модель G06N 3/02, G06N 7/02, № 97763, 10.04.2015, Бюл. №7. 3 с.
11. Кутковецький В. Я., Турти М. В. Спосіб самонавчання класифікуючої нейронної мережі. Патент України на корисну модель G06N 3/00, № 108187, 11.07.2016, Бюл. №13. 14 с.
12. Кутковецький В. Я., Турти М. В. Еволюційний спосіб виживання нейронної мережі // Патент України на корисну модель G06N 3/00, №113462, 25.01.2017, Бюл. №2. 6 с.
13. Кутковецький В. Я. Одновимірна аналітична геометрія багатовимірного аналізу.
14. Наукові праці. 2017. Т. 303. Вип. 291. С. 20–26.
15. Кутковецький В. Я. Аналітична геометрія тілесних кутів з паралельними осями координат. Наукові праці. 2017. Вип. 296. Т. 308. С. 9–13.
16. Кутковецький В. Я. Зважені відстані між об'єктами. Наукові праці. 2017. Т. 308, Вип. 296. С. 105–111.
17. Кутковецький В. Я. Теорія візуалізації багатовимірних об'єктів аналітичної геометрії. Наукові праці : наук. журн. 2018. Вип. 301. Т. 313. С. 31–41.
18. Кутковецький В. Я. Теорія кластерів. Наукові праці. Серія «Комп'ютерні технології». 2018. Вип. 305. Т. 317. С. 63–69.