

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

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

Силабус ДВА-5 «Методи створення нейромережових систем штучного інтелекту»

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти Третій (освітньо-науковий)

Галузь знань	12 – інформаційні технології
Спеціальність	122 – Комп'ютерні науки
Освітньо-наукова програма	Інтелектуальні методи та засоби комп'ютерних наук
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2-й рік підготовки, 4-й семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити/90 годин
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Іспит
Розклад занять	2 години аудиторних занять/тиждень,
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Викладач: Рачковський Дмитро Андрійович, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу нейромережових технологій обробки інформації dar@infrm.kiev.ua
Розміщення курсу	https://aspirant.irtc.org.ua/silabusi/

ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Методи створення нейромережових систем штучного інтелекту» присвячена вивченню нейромережних підходів до подання та оброблення даних для інтелектуальних інформаційних технологій та систем. Дослідження в цьому напрямку тісно пов'язані з моделюванням елементів інтелектуальної діяльності людини, принципів та механізмів нейромережної організації мозку для побудови нейромережних архітектур. Основою нейромережного підходу є моделювання подання інформації в мозку. Нейромережний підхід привів до виникнення ідеї розподіленого подання інформації, яка є формою векторного подання, де кожен об'єкт (ознака, фізичний об'єкт, їх сукупність, відношення тощо) представлено сукупністю компонентів вектора, а окремий компонент вектора може належати поданням різних об'єктів. У дисципліні особливу увагу приділяють підходу до конструювання та застосування особливого типу розподіленого подання даних, відомого як векторно-символьні архітектури.

МЕТА, ЗАВДАННЯ, ПРИЗНАЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни «Методи створення нейромережових систем штучного інтелекту» є формування розуміння та вміння розробляти та використовувати нові підходи до нейромережного розподіленого векторного подання даних в інтелектуальних інформаційних технологіях та системах.

Основними завданнями є: 1) вивчення подання даних у системах штучного інтелекту, архітектур нейронних мереж та методів оброблення даних на основі нейронних мереж; 2) вивчення основ векторно-символьних архітектур, перетворення різних типів даних у розподілені векторні подання, що відображають структуру даних, їх застосувань у задачах пошуку та класифікації за схожістю, основ асоціативно-проективних нейронних мереж.

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:

ЗК03. Здатність працювати в міжнародному контексті.

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.

СК02. Здатність застосовувати сучасні методології, методи та інструменти експериментальних і теоретичних досліджень у сфері комп'ютерних наук, сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси у науковій та освітній діяльності.

СК03. Здатність виявляти, ставити та розв'язувати дослідницькі науково-прикладні завдання та/або вирішувати проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

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

СК07. Здатність до створення та адекватного застосування інтелектуальних методів аналізу інформації та керування складними динамічними об'єктами різної природи.

СК09. Здатність до розвитку теорії, розроблення нових методів та інтелектуальних засобів для розв'язання прикладних завдань з різних сфер, зокрема, технічної, економічної, екологічної, медичної, біологічної тощо.

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

Загальні програмні результати навчання

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з комп'ютерних наук і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення

наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

PH03. 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.

PH04. 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.

PH06. 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.

PH10. Відшуковувати, оцінювати та критично аналізувати інформацію щодо поточного стану та трендів розвитку, інструментів та методів досліджень, наукових та інноваційних проєктів з комп'ютерних наук.

PH12. 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.

PH13. Здійснювати розроблення нових методів та інтелектуальних засобів для розв'язання прикладних завдань з різних сфер, зокрема, технічної, економічної, екологічної, медичної, біологічної тощо.

PH16. Застосовувати методи побудови систем штучного інтелекту, визначати механізми використання знань про предметну область для виконання прикладних завдань на основі інтелектуальних інформаційних систем різної спрямованості.

ПЕРЕДУМОВИ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ТА КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	Усього	У тому числі		
		Лекції	Семінарські заняття	Самостійна робота
1	2	3	4	5
<i>Змістовий модуль 1. Нейронні мережі та подання даних</i>				
Тема 1. Основи моделювання нейронних мереж	10	2	2	6
Тема 2. Оброблення даних та розв'язання завдань на основі схожості нейромережних подань.	10	2	2	6
Тема 3. Розподілене подання даних у застосуваннях	10	2	2	6

<i>Усього годин за змістовим модулем 1</i>	30	6	6	18
Змістовий модуль 2. Векторне-символьні архітектури				
Тема 4. Основні моделі векторне-символьних архітектур	8	2	2	4
Тема 5. Основні моделі векторне-символьних архітектур	8	2	2	4
Тема 6. Подання різних типів даних у векторне-символьних архітектурах	8	2	2	4
Тема 7. Розв'язання завдань на основі векторне-символьних архітектур	6	2	0	4
<i>Усього годин за змістовим модулем 2</i>	30	8	6	16
Змістовий модуль 3. Асоціативно-проективні нейронні мережи				
Тема 8. Основні операції у асоціативно-проективних нейронних мережах	6	2	0	4
Тема 9. Розподілена асоціативна пам'ять	8	2	2	4
Тема 10. Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах	8	2	2	4
Тема 11. Подання різних типів даних у асоціативно-проективних нейронних мережах	8	2	2	4
<i>Усього годин за змістовим модулем 3</i>	30	8	6	16
РАЗОМ:	90	22	18	50

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТКА ОПАНУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№ з/п	Теми та форми занять (год.)	Зміст занять і навчальних завдань	Форми контролю
Змістовий модуль 1. Нейронні мережі та подання даних			
Тема 1. Основи моделювання нейронних мереж			
1	<i>Лекція</i> Основи моделювання нейронних мереж (2 год.)	Архітектури нейронних мереж. Навчання нейронних мереж з вчителем та без вчителя.	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Основи моделювання нейронних мереж (2 год.)	Подання даних у нейронних мережах та у системах штучного інтелекту. Розподілене, локальне, символічне подання даних	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
3	<i>Самостійна робота</i> Основи моделювання нейронних мереж (6 год.)	Моделі нейронів и нейронах мереж. Міри схожості різних типів даних та оцінювання їхніх величин.	Усне опитування
Тема 2. Оброблення даних та розв'язання завдань на основі схожості нейромережних подань			
1	<i>Лекція</i> Оброблення даних та розв'язання завдань на основі схожості нейромережних подань. (2 год.)	Міркування на основі прикладів. Пошук за схожістю. Завдання класифікації. Швидкий пошук за схожістю	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Оброблення даних та розв'язання завдань на основі схожості нейромережних подань. (2 год.)	Міркування за аналогією. Моделі пошуку аналогів. Моделі відображення елементів аналогів.	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
3	<i>Самостійна робота</i> Оброблення даних та розв'язання завдань на	Швидке оцінювання мір схожості різних типів даних. Швидке оцінювання мір схожості у	Усне опитування
	основі схожості нейромережних подань. (6 год.)	евклідовому просторі. Швидке оцінювання неевклідових мір схожості векторів. Швидке оцінювання мір схожості бінарних векторів.	
Тема 3. Розподілене подання даних у застосуваннях			
1	<i>Лекція</i> Розподілене подання даних у застосуваннях (2 год.)	Розв'язання завдань пошуку за схожістю з застосуванням розподілених подань даних..	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Розподілене подання даних у застосуваннях (2 год.)	Розв'язання завдань класифікації із застосуванням розподілених подань даних	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування

3	<i>Самостійна робота</i> Розподілене подання даних у застосуваннях (6 год.)	Пошук аналогів із застосуванням розподілених подань. Відображення елементів аналогів із застосуванням розподілених подань даних	Усне опитування
Змістовий модуль 2. <i>Векторне-символьні архітектури</i>			
Тема 4. Основи векторне-символьних архітектур			
1	<i>Лекція</i> Основи векторне-символьних архітектур (2 год.)	Основні операції у векторне-символьних архітектурах: суперпозиція та зв'язування	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Основи векторне-символьних архітектур (2 год.)	Мультиплікативне та перестановочне зв'язування	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
3	<i>Самостійна робота</i> Основи векторне-символьних архітектур (4 год.)	Проблеми подання даних у різних підходах до штучного інтелекту.	Усне опитування
Тема 5. Основні моделі векторне-символьних архітектур			
1	<i>Лекція</i> Основні моделі векторне-символьних архітектур (2 год.)	Sparse Binary Distributed Representations. Holographic Reduced Representations.	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Основні моделі векторне-символьних архітектур (2 год.)	Binary Spatter Codes	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
3	<i>Самостійна робота</i> Основні моделі векторне-символьних архітектур (4 год.)	Multiply-Add-Permute	Усне опитування
Тема 6. Подання різних типів даних у векторне-символьних архітектурах			
1	<i>Лекція</i> Подання різних типів даних у векторне-символьних архітектурах (2 год.)	Подання різних типів даних. Подання послідовностей та зображень у векторне-символьних архітектурах	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Подання різних типів даних у векторне-символьних архітектурах (2 год.)	Подання графів у векторне-символьних архітектурах	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування

3	<i>Самостійна робота</i> Подання різних типів даних у векторно-символьних архітектурах (4 год.)	Подання множин та числових векторів у векторно-символьних архітектурах	Усне опитування
Тема 7. Розв'язання завдань на основі векторно-символьних архітектур			
1	<i>Лекція</i> Розв'язання завдань на основі векторно-символьних архітектур (2 год.)	Розв'язання завдань на основі векторно-символьних архітектур. Завдання класифікації та типи класифікаторів які використовуються у векторно-символьних архітектурах	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Самостійна робота</i> Розв'язання завдань на основі векторно-символьних архітектур (4 год.)	Пошук за схожістю у векторно-символьних архітектурах	Усне опитування
Змістовий модуль 3. <i>Асоціативно-проективні нейронні мережі</i>			
Тема 8. Основні операції у асоціативно-проективних нейронних мережах			
1	<i>Лекція</i> Основні операції у асоціативно-проективних нейронних мережах (2 год.)	Операції суперпозиції та зв'язування у асоціативно-проективних нейронних мережах. Контекстно-залежне проріджування	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Самостійна робота</i> Основні операції у асоціативно-проективних нейронних мережах (4 год.)	Різновиди операцій зв'язування	Усне опитування
Тема 9. Розподілена асоціативна пам'ять			
1	<i>Лекція</i> Розподілена асоціативна пам'ять (2 год.)	Розподілена матрична авто-асоціативна пам'ять	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Розподілена асоціативна пам'ять (2 год.)	Інформаційні характеристики розподіленої матричної автоасоціативної пам'яті	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
3	<i>Самостійна робота</i> Розподілена асоціативна пам'ять (4 год.)	Запам'ятовування та відтворення у розподіленій матричній авто-асоціативній пам'яті	Усне опитування
Тема 10. Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах			
1	<i>Лекція</i> Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах (2 год.)	Загальна архітектура асоціативно-проективних нейронних мереж	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування

2	<i>Семінарське заняття</i> Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах (2 год.)	Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах за послідовної та паралельної схемами	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
3	<i>Самостійна робота</i> Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах (4 год.)	Функціональні акти як основа моделювання інтелектуальної поведінки	Усне опитування
Тема 11. Подання різних типів даних у асоціативно-проективних нейронних мережах			
1	<i>Лекція</i> Подання різних типів даних у асоціативно-проективних нейронних мережах (2 год.)	Типи розподіленого подання числових векторів у асоціативно-проективних нейронних мережах	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
2	<i>Семінарське заняття</i> Подання різних типів даних у асоціативно-проективних нейронних мережах (2 год.)	Подання послідовностей та зображень у асоціативно-проективних нейронних мережах	Спостереження за активністю здобувачів PhD у обговоренні питань, усне опитування
3	<i>Самостійна робота</i> Подання різних типів даних у асоціативно-проективних нейронних мережах (4 год.)	Подання графів у асоціативно-проективних нейронних мережах	Усне опитування
Обов'язкове індивідуальне завдання			
№№ з/п	1. Швидке оцінювання мір схожості у евклідовому просторі 2. Швидке оцінювання неевклідових мір схожості векторів 3. Швидке оцінювання мір схожості бінарних векторів 4. Існуючі моделі векторно-символьних архітектур 5. Розвиток ідей Н.М. Амосова та його наукової школи,		реферат

<p>заснованих на моделюванні мислення людини і особливостей нейромережної організації мозку</p> <p>6. Моделі розподіленої авто-асоціативної пам'яті</p> <p>7. Типи розподіленого подання числових векторів у асоціативно-проективних нейронних мережах</p> <p>8. Моделі пошуку аналогів</p> <p>9. Моделі відображення елементів аналогів</p> <p>10. Швидкий пошук за схожістю</p>	
---	--

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:

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

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:

Форми навчальної діяльності	Максимальна сумарна оцінка в балах
усне опитування	65
активна робота на заняттях	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	A (відмінно)
81 - 90	добре		B (дуже добре)
71 - 80			C (добре)
66 - 70	задовільно		D (задовільно)
60 - 65			E (достатньо)
40 - 59	незадовільно	не зараховано	FX (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 - 39			F (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 відбуватись 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 перекладання

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

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Kussul E.M., Baidyk T.N., Wunsch D.C. *Neural Networks and Micro Mechanics*.
2. Рачковський Д.А., Гриценко В.І. Розподілене подання векторних даних на основі випадкових проєкцій. Київ, 2018. 216 с.
3. Kleyko D., Rachkovskij D.A., Osipov E., Rahimi A. A Survey on Hyperdimensional Computing aka Vector Symbolic Architectures, Part II: Applications, Cognitive Models, and Challenges. Accepted for publication at ACM Computing Surveys. 2022. ISSN: 0360-0300. Journal Impact Factor: 18.1. Available online as a preprint: arXiv:2112.15424.
4. Rachkovskij D.A., Kussul E. Binding and normalization of binary sparse distributed representations by context-dependent thinning. *Neural Computation*, 2001, vol. 13, no. 2. pp. 411–452.
5. Rachkovskij D.A., Kussul E.M., Baidyk T.N. Building a world model with structure-sensitive sparse binary distributed representations. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2013. Vol. 3, pp. 64–86.
6. Rachkovskij D.A., Gritsenko V.I., Volkov O.Ye., Goltsev A.D., Revunova E.G., Kleyko D., Lukovich V.V., Osipov E. Neural Distributed Representations for Artificial Intelligence and Modeling of Thinking. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2022, 2(208), pp. 5–29.

Допоміжна:

7. Thorpe S. Localized versus distributed representations. *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, edited by M.A. Arbib. Cambridge, MA: The MIT Press, 2003, pp. 643–646.

8. Kleyko D., Rachkovskij D.A., Osipov E., Rahimi A. A Survey on Hyperdimensional Computing aka Vector Symbolic Architectures, Part I: Models and Data Transformations. Accepted for publication at ACM Computing Surveys. 2022. ISSN: 0360-0300. Journal Impact Factor: 18.1. Available online as a preprint: arXiv:2111.06077.
9. Gritsenko V.I., Rachkovskij D.A., Frolov A.A., Gayler R., Kleyko D., Osipov E. Neural distributed autoassociative memories: A survey. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2017, 2(188), pp. 5–35.
10. Falkenhainer B., Forbus K.D., Gentner D. The structure-mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence*, 1989, vol. 41, pp. 1–63.
11. Thagard P., Holyoak K.J., Nelson G., Gochfeld D. Analog retrieval by constraint satisfaction. *Artificial Intelligence*, 1990, vol. 46, no. 1–2, pp. 259–310.
12. Forbus K.D., Gentner D., Law K. MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval. *Cognitive Science*, 1995, vol. 19, no. 2, pp.141–205.
13. Rachkovskij D.A. Representation and processing of structures with binary sparse distributed codes. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2001, vol. 13, no. 2, pp. 261–276.
14. Rachkovskij D.A. Some approaches to analogical mapping with structure sensitive distributed representations. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 2004, vol. 16, no. 3, pp. 125–145.
15. Rachkovskij D.A., Slipchenko S.V. Similarity-based retrieval with structure-sensitive sparse binary distributed representations. *Computational Intelligence*, 2012, vol. 28, no. 1, pp. 106–129.
16. Slipchenko S.V., Rachkovskij D.A. Analogical mapping using similarity of binary distributed representations. *Information Theories and Applications*, 2009, no. 3, pp. 269-290.
17. Kleyko D., Rahimi A., Rachkovskij D.A., Osipov E., Rabaey J.M. Classification and Recall with Binary Hyperdimensional Computing: Trade-offs in Choice of Density and Mapping Characteristics. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 29, no. 12, pp. 5880-5898, 2018. ISSN: 2162-237X.