

*С.Ф. ЧАЛИЙ, В.О. ЛЕЩИНСЬКИЙ, І.О. ЛЕЩИНСЬКА*

## **КАУЗАЛЬНА МЕНТАЛЬНА МОДЕЛЬ РІШЕННЯ В ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ ПОЯСНЕНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ**

Предметом дослідження є процес побудови каузальних ментальних моделей рішення інтелектуальної системи. Виконано аналіз можливостей використання ментальних моделей при побудові пояснень в інтелектуальних системах з виділенням каузальних, аналогічних, фольклорних та динамічних моделей. Обґрунтовано можливість використання каузальних моделей при вирішенні задачі побудови пояснень. Розроблено каузальну ментальну модель рішення інтелектуальної системи, яка містить опис вхідних даних, опис властивостей рішення та причинно-наслідкові залежності між вхідними даними й властивостями рішення. Вказані залежності об'єднуються у альтернативні варіанти рішень в рамках ментальної моделі. Модель враховує як позитивні, так і негативні властивості отриманого результату.

### **1. Вступ**

Сучасні інтелектуальні системи (ІС) використовують аналіз даних і алгоритми машинного навчання для побудови рішень, які можуть бути використані користувачами у своїй практичній діяльності. Такі алгоритми формування рішень зазвичай є непрозорими, що ускладнює їх розуміння користувачами [1]. Непрозорість алгоритмів може призвести до зниження довіри до рішень системи, що обумовлює необхідність побудови пояснень. Пояснення мають представляти процес формування рішення у зрозумілому для користувача вигляді [2].

Для забезпечення зрозумілості пояснень необхідно враховувати особливості причинно-наслідкового мислення людини, яке базується на ментальних моделях. Ментальна модель є внутрішнім представленням зовнішньої стосовно людини реальності. Така модель формується на основі досвіду та знань людини [3].

В контексті взаємодії з інтелектуальними системами ментальні моделі можуть містити декларативні та процедурні знання про процес формування рішень та отримане рішення. Зокрема, каузальні ментальні моделі дають можливість користувачеві описати причинно-наслідкові зв'язки між вхідними даними та отриманими в ІС результатами. Тому розробка каузальних ментальних моделей для користувачів, які застосовують результати роботи інтелектуальної системи при вирішенні практичних задач у сфері своєї професійної діяльності, дає можливість підвищити ефективність пояснень і, як наслідок, ефективність використання рішень інтелектуальних інформаційних систем.

### **2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження**

Дослідження в галузі пояснювального штучного інтелекту передбачають розробку ІС, які забезпечують прозорість процесу прийняття рішень для користувачів [4], [5]. Прозорість алгоритмів формування рішення є передумовою їхньої зрозумілості для кінцевих користувачів, що обумовлює потребу у врахуванні особливостей сприйняття інформації користувачем при побудові пояснень. Такі особливості відображені у ментальних моделях користувачів [3], [6]. При побудові ментальних моделей враховуються контрфакти (альтернативні варіанти рішення), упорядкованість дій процесу формування рішення у часі [7], [8], а також каузальні залежності, що визначають причини отриманих в ІС рішень. Комбінування контрфактичного аналізу із темпоральними та каузальними залежностями при побудові пояснень запропоновано в роботах [9], [10]. Такий підхід дозволяє створювати повніші та зрозуміліші пояснення з урахуванням як

альтернативних варіантів рішень [11], так і базових принципів побудови ментальних моделей людини [12], [13]. Однак такий підхід орієнтований в першу чергу на побудову загальних пояснень і не орієнтований на перевірку відповідності каузальних залежностей щодо рішення ІС у поясненні та у представленні користувача. Тому побудова ментальних моделей користувача з явним представленням каузальних залежностей щодо причин рішень інтелектуальної системи є важливою задачею, що й свідчить про актуальність теми дослідження.

### **3. Мета і задачі дослідження**

Метою дослідження є розробка каузального підходу до побудови ментальних моделей рішення в системах штучного інтелекту з тим, щоб забезпечити можливість побудови та уточнення пояснення згідно зі знаннями користувача про предметну область.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі задачі: структуризація ментальних моделей з урахуванням їхніх властивостей в аспекті формування пояснень в інтелектуальних системах; розробка каузальної ментальної моделі рішення інтелектуальної системи.

### **4. Аналіз можливостей використання ментальних моделей при побудові пояснень в інтелектуальних системах**

Ментальні моделі описують внутрішнє представлення зовнішньої реальності людиною. Такі моделі дають можливість інтерпретувати навколишнє середовище, прогнозувати події та приймати обґрунтовані рішення [14]. Проведений аналіз дає можливість виділити такі типи моделей: каузальні; «за аналогією»; фольклорні; динамічні.

Каузальні моделі відображають представлення людей щодо причинно-наслідкових зв'язків між подіями. Такі моделі можуть бути використані для прогнозування результатів визначених дій, в тому числі при роботі з інформаційними системами [15].

Ментальні моделі «за аналогією» ґрунтуються на використанні знань з однієї предметної області для представлення та розуміння іншої предметної сфери. Наприклад, аналогія «течія води» може використовуватись для пояснення результатів дії електричного струму [16]. Такі моделі використовуються для навчання в новій предметній області та для адаптації до нових подій і ситуацій. Перевага моделей «за аналогією» полягає у можливості спрощення складних концепцій, що робить останні доступними для розуміння. Тобто за допомогою таких моделей структурують та потім інтегрують нову інформацію в існуючі когнітивні схеми. Проте підхід «за аналогією» має обмеження: аналогії можуть бути неточними у випадку суттєвих відмінностей між об'єктами, для яких вводиться аналогія.

Фольклорні ментальні моделі відображають усталені переконання у певній предметній області. Такі моделі формуються на основі повсякденного досвіду і тому зазвичай є неточними або неповними. Фольклорні моделі базуються на інтуїтивному розумінні навколишнього середовища та часто використовують антропоцентричний підхід до представлення подій та явищ навколишнього середовища [17]. Фольклорні моделі у процесі навчання трансформуються у каузальні або моделі «за аналогією». Проте такі моделі можуть протирічати новим знанням, що утруднює їх коригування.

Динамічні ментальні моделі відображають зміни в часі у системі, з якою взаємодіє людина. Вони враховують зворотний зв'язок та затримки у часі. Такі моделі можуть відображати нелінійні залежності. Такі моделі дають можливість представити альтернативні сценарії розвитку подій, а також оцінювати наслідки цих альтернатив. Наприклад, в економічному плануванні такі моделі можуть допомогти передбачити вплив змін у політиці на макроекономічну стабільність [18].

Розглянуті вище ментальні моделі можна представити у вигляді схем або скриптів. Схема відображає узагальнені структури знань щодо визначеної категорії об'єктів або

явищ, тобто представляє декларативні знання. Скрипт є різновидом схеми, що описує послідовність дій або подій у заданому контексті, тобто скрипт відображає процедурні знання.

Ментальні моделі можуть відображати індивідуальні або колективні знання. Індивідуальні ментальні моделі відображають особистий досвід та знання окремої людини. Колективні моделі об'єднують досвід груп людей і можуть враховувати культурні або соціальні норми [19].

Узагальнену порівняльну характеристику представлених ментальних моделей наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Представлення пояснень у темпоральному та каузальному аспектах

Тип моделі	Властивості	Переваги	Обмеження
Каузальні моделі	Відображають причинно-наслідкові зв'язки між подіями.	Дозволяють прогнозувати наслідки дій.	Потребують точних даних і врахування контексту при формуванні
Моделі «за аналогією»	Базуються на використанні знань з однієї предметної області для представлення знань з іншої.	Сприяють навчанню та адаптації до нових ситуацій; спрощують складні концепції для легшого розуміння.	Аналогії можуть бути неточними у разі значних відмінностей між об'єктами або системами.
Фольклорні моделі	Відображають інтуїтивні переконання, сформовані на основі повсякденного досвіду.	Інтуїтивно зрозумілі; слугують основою для формування точніших моделей (каузальних або «за аналогією»).	Неточність і неповнота; можуть суперечити новим знанням, що ускладнює їх коригування.
Динамічні моделі	Відображають зміни процесів у часі.	Дозволяють оцінювати наслідки альтернативних сценаріїв дій.	Потребують значних обчислювальних ресурсів; складні для розуміння без спеціалізованих знань.

Порівняння наведених в табл. 1 базових характеристик ментальних моделей дає можливість зробити висновок про те, що моделі «за аналогією» та фольклорні моделі часто є неповними та неточними, а динамічні моделі потребують спеціалізованих знань з предметної області. Зазначені властивості обмежують їх використання при побудові пояснень в інтелектуальних системах. Проте каузальні моделі дають можливість прогнозувати наслідки виконаних дій, що обумовлює важливість їх використання при побудові пояснень.

### 5. Каузальна ментальна модель рішення інтелектуальної системи

Каузальні моделі мають такі ключові характеристики: представлення причин та наслідків; репрезентація структури системи, з якою взаємодіє людина; представлення зворотного зв'язку; врахування темпорального аспекту; адаптивність; обмежена раціональність.

Представлення причин та наслідків рішень дає можливість побудувати та обґрунтувати процес прийняття та вибору рішення в цільовій предметній області.

Когнітивні каузальні моделі враховують упорядкованість у часі причини та наслідків. Така властивість дає можливість представити системи, де результати вхідних дій можуть

проявляться із затримкою в часі.

Репрезентація структури системи в ментальній моделі відображає розуміння компонентів системи, з якою взаємодіє людина, а також зв'язків між цими компонентами.

Каузальні ментальні моделі можуть відображати цикли позитивного або негативного зворотного зв'язку, що дає можливість прогнозувати довгострокові наслідки дій та зміни станів системи, з якою взаємодіє людина.

Властивість адаптивності каузальних моделей відображає можливість уточнення причинно-наслідкових зв'язків з часом із використанням нового досвіду та додаткової інформації.

Обмеження каузальних ментальних моделей полягає у спрощенні реальних причинно-наслідкових залежностей внаслідок когнітивних обмежень людини. Проте дане обмеження не є суттєвим при вирішенні задачі побудови пояснень, оскільки пояснення – це спрощене представлення процесу формування рішення в інтелектуальній системі.

Узагальнення властивостей каузальних моделей в аспекті побудови пояснень в інтелектуальних інформаційних системах наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Властивості каузальних ментальних моделей

Властивість	Опис	Переваги при побудові та уточненні пояснень
Представлення причини та наслідків подій та рішень	Відображає представлення процесу формування/вибору рішення у заданій предметній області	Дає можливість пояснити причини та наслідки прийнятого рішення
Репрезентація структури системи	Відображає представлення компонентів системи.	Дозволяє пояснити структуру складної системи.
Представлення зворотного зв'язку	Враховує цикли позитивного та негативного зворотного зв'язку для прогнозування довгострокових наслідків дій.	Допомагає пояснити реакцію системи на зміни у вхідних даних.
Врахування темпорального аспекту	Відображає часові затримки між причиною та наслідком, що дозволяє упорядкувати ланцюжок дій із отримання результату.	Дає можливість пояснити процес формування рішення в інтелектуальній інформаційній системі із заданим ступенем деталізації.
Адаптивність	Можливість уточнювати причинно-наслідкові зв'язки на основі нового досвіду та додаткової інформації.	Створює умови для уточнення пояснення у процесі функціонування інтелектуальної інформаційної системи.
Обмежена раціональність	Спрощує реальні причинно-наслідкові залежності через когнітивні обмеження людини.	Забезпечує можливість побудови пояснень на основі лише ключових залежностей процесу формування рішення в інтелектуальній інформаційній системі.

Ментальна каузальна модель користувача інтелектуальної системи, що відображає наведені в табл. 2 властивості, містить такі ключові компоненти:

– дані, що описують компоненти системи, з якою працює користувач (в тому числі вхідні та вихідні дані);

–темпоральні залежності, що відображають зв'язок між вхідними даними та

результатом у часі;

– причинно-наслідкові залежності, які базуються на темпоральних залежностях та відображають зв'язок між входами та виходами ІС;

– альтернативні аспекти рішень, що можуть відображати позитивні та негативні для користувача аспекти отриманого результату;

Формально каузальна ментальна модель  $M$ , що має представлені вище характеристики, складається із набору альтернатив  $M_i$ . Кожна з цих альтернатив відповідає одному з можливих рішень інтелектуальної системи. Ключова відмінність між альтернативами пов'язана із обмеженнями щодо вхідних та вихідних даних. Такі обмеження можуть бути пов'язані, наприклад, із фінансовим аспектом – користувач може отримати бюджетне або преміальне рішення.

Кожна з альтернатив  $M_i$  складається з правил  $\pi_{i,j}^{(l)}$ , що містять пару: (вхідні дані  $v_{i,j}$  як причина; властивість отриманого рішення  $r_{i,j}^{(l)}$  як наслідок). Такі правила можуть враховувати набір  $l$  альтернативних варіантів опису однієї й тієї ж властивості отриманого рішення. Кожен  $l$ -й варіант опису властивості  $r_{i,j}^{(l)}$  орієнтований на потреби користувача з відповідним рівнем знань щодо предметної області.

Тоді кожне правило  $\pi_{i,j}^{(l)}$  може бути представлено у вигляді:

$$\pi_{i,j}^{(l)} : v_{i,j} \Rightarrow r_{i,j}^{(l)}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, l = \overline{1, L}. \quad (1)$$

Слід зазначити, що згідно із загальним представленням каузальності, для кожного правила має виконуватись темпоральна упорядкованість  $t(v_{i,j}) < t(r_{i,j}^{(l)})$ , тобто час розгляду причини  $t(v_{i,j})$  завжди є меншим, ніж час розгляду наслідку  $t(r_{i,j}^{(l)})$ . Визначення темпорального порядку дає можливість побудувати ланцюжок причин та наслідків навіть у випадку пропуску проміжних складових даного ланцюжка.

Альтернатива  $M_i$  у каузальній ментальній моделі складається з декількох наборів  $\Pi_i^{(l)}$  причинно-наслідкових залежностей, орієнтованих на різних  $l$ -х користувачів:

$$M_i = \{ \Pi_i^{(l)} \}, \Pi_i^{(l)} = \{ \pi_{i,j}^{(l)} \}. \quad (2)$$

Відповідно, загальна каузальна ментальна модель має вигляд:

$$M = \bigvee_i M_i. \quad (3)$$

Модель (3) враховує лише бажані для користувача властивості результату. Такий підхід дає можливість оперативно відобразити потреби користувача. Однак він не враховує можливі обмеження, що виникають при використанні рішення. Тому кожна альтернатива  $M_i$ , крім наведених вище причин  $v_{i,j}^+$ , має бути доповнена переліком причин  $v_{i,j}^-$ , які можуть ускладнити використання отриманого в системі рішення.

Відповідно, уточнена каузальна залежність набуває вигляду:

$$\pi_{i,j}^{(l)} : \left( v_{i,j}^+ \Rightarrow r_{i,j}^{(l)} \right) \vee \left( v_{i,j}^- \Rightarrow r_{i,j}^{(l)} \right). \quad (4)$$

Запропоноване представлення ментальної моделі дає можливість відобразити ключові елементи об'єкту, системи або рішення, з якими взаємодіє та які використовує користувач, через множини його властивостей  $v_{i,j}^+$  та  $v_{i,j}^-$ . Отримане рішення характеризується множиною властивостей  $r_{i,j}^{(l)}$ .

### 6. Ілюстративний приклад побудови каузальної ментальної моделі користувача

Експериментальну перевірку можливості побудови каузальної ментальної моделі користувача виконано для платформи e-commerce за результатами аналізу характеристик мобільних телефонів (причина) та відгуків покупців цих телефонів (наслідок) на сторінках «comments» розділу <https://rozetka.com.ua/mobile-phones/c80003/>. Для того, щоб узагальнити причини та наслідки, в рамках експерименту було відібрано моделі телефонів одного виробника. Приклади вхідних даних для побудови ментальних моделей наведено на рис. 1.

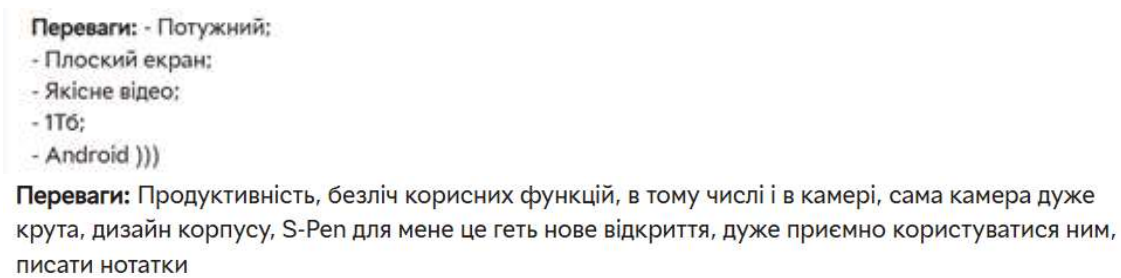


Рис. 1. Приклади даних для побудови наслідків у ментальній моделі

Каузальні ментальні моделі сформовано за трьома базовими параметрами  $v_{i,j}^+$ , що визначають причину каузальної залежності: тип процесора; об'єм оперативної пам'яті; пам'ять постійного зберігання. В результаті отримано варіанти моделі, представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Каузальні ментальні моделі телефонів, представлених на платформі електронної комерції

Рівень моделі	Причина	Наслідок 1	Наслідок 2
1	2	3	4
Базовий	Процесор Exynos 1280	Базова продуктивність	Стабільна робота базових додатків
	6GB RAM	Обмежена багатозадачність	Одночасна робота 3-4 додатків
	128GB пам'яті	Обмежені можливості зберігання даних	Обмежена кількість додатків та файлів
Середній	Покращений процесор	Підвищена продуктивність	Стабільна робота в іграх
	8GB RAM	Розширена багатозадачність	Більше одночасно відкритих додатків
	256GB пам'яті	Типові можливості зберігання даних	Зберігання великої кількості медіафайлів

Кінець табл. 3

1	2	3	4
Преміум	Snapdragon 8 Gen	Максимальна продуктивність	Робота з важкими додатками
	12GB RAM	Багатозадачність для професійного використання	Необмежена на практиці кількість додатків
	1TB пам'яті	Відсутність практичних обмежень щодо зберігання даних	Використання у професійній діяльності

Дана таблиця узагальнює шість альтернативних варіантів рішення в одній ментальній моделі. Ці варіанти відповідають різним потребам та різним рівням знань користувачів даної системи.

В рамках альтернатив, по-перше, виділено три рівні характеристик мобільного телефону: базовий; середній; преміум. Ці рівні відповідають фінансовим обмеженням користувача та різним потребам щодо використання телефону – від підтримки базових функцій до використання у професійній діяльності. По-друге, причинно-наслідкові залежності орієнтовано на користувачів з різними рівнями знань щодо предметної області (поверхневим та професійним), що представлені у стовпчиках «Наслідок 1» та «Наслідок 2».

#### **7. Обговорення результатів дослідження**

Представлена модель визначає залежності між ключовими для користувача значеннями вхідних параметрів та характеристиками рішення.

Перевага даного підходу пов'язана із можливістю побудови в рамках ментальної моделі декількох альтернативних наборів каузальних залежностей, що створює умови для уточнення пояснення згідно з потребами користувача.

Обмеження запропонованого підходу пов'язані із складністю виділення наслідків у ментальній моделі, оскільки інформація щодо особливостей використання отриманих в інтелектуальній системі рішень зазвичай представлена в текстовій формі, яка не завжди передбачає використання термінології предметної області.

Подальший напрямок досліджень щодо побудови каузальних моделей пов'язаний із розробкою підходу до автоматизованого формування каузальних залежностей моделі на основі інтелектуального аналізу відгуків користувачів щодо особливостей використання рішень інтелектуальної системи.

#### **8. Висновки**

Виконано аналіз можливостей використання ментальних моделей при побудові пояснень в інтелектуальних системах. Показано відмінності каузальних ментальних моделей, моделей «за аналогією», фольклорних та динамічних ментальних моделей. Обґрунтовано вибір каузальних ментальних моделей для використання при побудові пояснень в інтелектуальних системах. Показано, що каузальні ментальні моделі дають можливість репрезентувати структуру системи, з якою взаємодіє користувач, описати процес формування рішення у визначеній предметній області, враховувати можливості позитивного та негативного зворотного зв'язку. Такі моделі можуть бути доповнені та уточнені при виявленні нових причинно-наслідкових залежностей у відповідній предметній області.

Запропоновано каузальну ментальну модель рішення інтелектуальної системи для вирішення задачі побудови пояснень. Модель містить набір альтернативних представлень причин і наслідків отриманого рішення з урахуванням можливостей та обмежень щодо

використання рішення. Застосування альтернатив дає можливість підбирати пояснення згідно з обмеженнями щодо вхідних даних та обмеженнями щодо можливостей використання рішення інтелектуальної системи.

**Перелік посилань:**

1. Nassih, R., & Berrado, A. (2020). State of the art of fairness, interpretability and explainability in machine learning: Case of prim. In Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1145/3419604.3419776>
2. Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138-52160. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>
3. Rook, L. (2021). Mental models: A robust definition. *The Learning Organization*, 28(1), 6-17. <https://doi.org/10.1108/TLO-09-2019-0136>
4. Gunning i D. Aha, (2019) “DARPA’s Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program”, *AI Magazine*, Vol. 40(2), pp.44-58, doi: 10.1609/aimag.v40i2.2850.
5. Frasca, M., La Torre, D., Pravettoni, G., Manzoni, G. M., & Caputo, A. (2024). Explainable and interpretable artificial intelligence in medicine: a systematic bibliometric review. *Discovery Artificial Intelligence*, 4, 15. <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00114-7>
6. Tversky, B. (2019). Mind in motion: How action shapes thought. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(11), 935-944. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.08.007>
7. Chala O. (2018) Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*. Vol. 7, No. 3. P. 53 – 58.
8. Чала О. В. (2020) Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. № 1(3). С. 14-18. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2020.01.03>.
9. Chalyi, S., & Leshchynskyi, V. (2020). Temporal representation of causality in the construction of explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 4(3), 113–117. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.16>.
10. Чалий, С., & Лещинська, І. (2023). Концептуальна ментальна модель пояснення в системі штучного інтелекту. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. (1 (9), 70–75. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.01>.
11. Byrne, R. M. (2002). Mental models and counterfactual thoughts about what might have been. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(10), 426-431. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01974-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01974-5)
12. Чалий С. Ф., Лещинська І. О. Принципи побудови ментальних моделей рішення для зовнішнього користувача в задачі формування пояснень в інтелектуальній системі. *АСУ та прилади автоматики*. Вип. 181. 2024. С. 82-90. <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2024.181.082>
13. Чалий С.Ф., Лещинська І.О. Уточнення ментальної моделі рішення на основі доповнення вхідних даних в задачі формування пояснень в інтелектуальній системі. *АСУ та прилади автоматики*. 2024. Вип. 182. С. 66-72. <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2024.182.066>
14. Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.
15. Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford University Press.
16. Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity
17. Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585.
18. Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.
19. Markman, A. B. (1999). *Knowledge representation*. Psychology Press.

Надійшла до редколегії 25.11.2024 р.

**Чалий Сергій Федорович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: serhii.chalyi@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>.

**Лещинський Володимир Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: volodymyr.leshchynskyi@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>.

**Лещинська Ірина Олександрівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: iryna.leshchynska@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>.