

С.Ф. ЧАЛИЙ, І.О. ЛЕЩИНСЬКА

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕНТАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОГО КОРИСТУВАЧА В ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ ПОЯСНЕНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ СИСТЕМІ

Предметом дослідження є процес побудови ментальних моделей рішення для користувача в інтелектуальних інформаційних системах. Метою є удосконалення принципів побудови ментальних моделей зовнішніх користувачів щодо рішень інтелектуальної інформаційної системи для формування пояснень у відповідності до потреб користувачів та обмежень щодо використання рішень. Адаптовано існуючі принципи побудови ментальних моделей для підтримки вирішення задач побудови пояснень в інтелектуальній системі. Запропоновано принцип доповнення вхідних даних, який полягає у використанні нерелевантних значень властивостей рішення для обмеження множини релевантних рішень, що спрощує вибір та застосування рішення користувачем.

1. Вступ

Інтелектуальні інформаційні системи використовують аналіз та обробку знань при формуванні рішень для користувачів. Такі системи можуть вчитися на минулому досвіді, використовуючи машинне навчання. Проте, внаслідок застосування машинного навчання, моделі та алгоритми формування рішень в таких системах зазвичай є непрозорими і тому незрозумілими для споживачів. Незрозумілість алгоритмів може приводити до зниження довіри користувачів до цих рішень [1]. Для вирішення проблеми зниження довіри використовуються пояснення. Метою побудови пояснень є представлення процесу прийняття рішення в інтелектуальній системі (ІС) у зрозумілому для користувача вигляді [2], [3]. Для того, щоб пояснення було зрозумілим користувачеві, необхідно узгодити його із відповідною ментальною моделлю. Ментальна модель є внутрішнім представленням зовнішньої реальності в свідомості людини. У когнітивній психології ментальні моделі розглядаються як внутрішні представлення, що містять декларативні та процедурні знання. Ці знання використовуються для розуміння конкретних явищ, процесів, подій, що відбуваються у реальності [4]. Зовнішні користувачі ІС використовують результати її роботи для вирішення практичних задач у відповідній предметній області. На відміну від них, внутрішні користувачі забезпечують підтримку роботи ІС. Відповідно, ментальні моделі зовнішніх користувачів мають відображати у свідомості людини представлення вхідних даних та рішення ІС, з якою оперує користувач. Зазначене свідчить про актуальність розробки принципів побудови ментальних моделей для подальшого формування пояснень на їх основі.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

Дослідження в сфері розробки зрозумілого штучного інтелекту орієнтовані на створення ІС, алгоритми роботи яких можуть бути інтерпретовані внутрішніми та зовнішніми користувачами [5]. Така інтерпретованість забезпечує прозорість процесу прийняття рішень [6]. Однак узагальнені пояснення не завжди враховують рівень знань та практичні потреби користувачів [7]. Тому ключовою умовою для побудови зрозумілих пояснень є їх індивідуалізація, яка формується відповідно до ментальної моделі користувача [8]. Така індивідуалізація базується на використанні контрфактів (альтернативних варіантів подій) [9] й визначенні ключових темпоральних [10], [11] та каузальних залежностей [12] щодо процесу формування результату в ІС. Альтернативи мають враховуватись в ментальних моделях переважно зовнішніх користувачів, а темпоральні та каузальні залежності – деталізувати альтернативні рішення на основі

контрафактів для внутрішніх користувачів. Комбінований підхід до побудови пояснень на основі контрафактів, а також темпоральних і казуальних залежностей запропоновано в [13]. Концептуальну ментальну модель для побудови пояснень на основі такого комбінованого підходу представлено в [14]. Вплив альтернативних варіантів вибору на мислення обґрунтовано в [15]. Побудова ментальних моделей з урахуванням альтернатив представлено в [16]. Принципи побудови ментальних моделей людини представлено в [17], [18]. Однак між розробленими підходами до побудови пояснень, принципами і підходами до формування ментальних моделей існує протиріччя. Вказане протиріччя пов'язано з тим, що принципи побудови ментальних моделей не враховують особливостей зовнішніх користувачів ІС, які є суттєвими для побудови пояснень. Такі особливості пов'язані із необхідністю відображення в ментальній моделі не лише відомих для користувача «позитивних» властивостей рішення, а й «негативних» характеристик рішення, які можуть мати роль обмежень при побудові та відборі можливих варіантів пояснення. Зазначене свідчить про актуальність задач, що вирішуються в дослідженні.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є удосконалення принципів побудови ментальних моделей зовнішніх користувачів щодо рішень інтелектуальної інформаційної системи з тим, щоб формувати пояснення у відповідності як до потреб цих користувачів, так і до обмежень щодо використання рішень у визначеній предметній області.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі задачі: удосконалення існуючих принципів побудови ментальних моделей на основі структуризації опису рішення ІС; розробка принципу побудови ментальних моделей користувача ІС, що враховує обмеження при використанні отриманого рішення.

4. Принципи побудови ментальної моделі користувача інтелектуальної системи

Ментальна модель зовнішнього користувача ІС представляє собою знання-орієнтоване представлення отриманого в цій системі рішення, яке дає можливість використати дане рішення на практиці у заданому контексті.

Структура та характеристики рішення ІС залежать від предметної області. Однак узагальнено кожне рішення R_i можна описати повним набором $v_{i,j}^k$ k – їх значень його властивостей $a_{i,j}$:

$$R_i = \{v_{i,j}^k : (\forall i \forall j) \exists a_{i,j}\}. \quad (1)$$

Сукупність значень властивостей альтернативних рішень для однієї й тієї ж задачі становить множину V , тобто дана множина об'єднує опис всіх доступних рішень: $V = \bigcup_i R_i$

. Такий підхід до опису рішення дає можливість порівнювати різні рішення на основі порівняння схожих та відмінних властивостей, а також виділити підмножину обмежень на використання рішення ІС. Відповідно, пояснення щодо рішення може містити не лише безпосередні причини цього рішення, а й обмеження на його використання.

Принципи побудови ментальних моделей людини [17], [18] в даному дослідженні удосконалено з урахуванням опису рішень (1) через перелік значень їхніх властивостей, що дає можливість використовувати обмеження з урахуванням недопустимих для користувача значень. Вказані принципи включають в себе:

- принцип відповідності структури ментальної моделі та рішення в ІС;
- принцип множинності ментальних моделей щодо рішення в ІС;
- принцип неповноти вхідних даних для прийняття рішення;

– принцип доповнення вхідних даних для уточнення рішення в ІС.

Згідно з принципом **відповідності структури** П1, ментальна модель та рішення, яке воно відображає, є структурно подібними. Кожна i – та ментальна модель рішення M_i має бути представлена підмножиною значень властивостей $v_{i,j}^k$:

$$\text{П1: } M_i = \{v_{i,j}^k\} : (\forall i) \exists v_j^k \equiv v_{i,j}^k. \quad (2)$$

В ментальній моделі процесу прийняття рішення в ІС додатково може бути враховано темпоральний аспект подібності, що забезпечує такі можливості побудови пояснення:

– можливість формування в ментальній моделі нових темпоральних відношень, які не були представлені в оригінальному процесі;

– можливість спрощення ментальної моделі процесу прийняття рішення з урахуванням неповноти інформації про останній, якщо ІС представлена як «сіра скринька».

Розглянемо приклади імплементації даного принципу в системі електронної комерції. Для навігації в такій системі зазвичай використовуються такі іконки, як «кошик», «пошук» тощо, що відповідають ментальним моделям користувачів щодо типових функцій електронної комерції. Тому навігація по сайту стає інтуїтивно зрозумілою. Аналогічно, іконки можуть використовуватися для візуалізації різних категорій товарів, що дозволяє користувачам оперативно орієнтуватись на сайті, особливо при використанні смартфонів з обмеженим простором екрану.

Іконки можуть також відображати процеси взаємодії системи електронної комерції із користувачем, тобто враховувати темпоральний аспект. Зокрема, іконки можуть інформувати користувача про додавання товару в кошик, у список бажань, забезпечуючи чіткий зворотній зв'язок без необхідності використання додаткового тексту.

Принцип **множинності ментальних моделей** П2 відображає можливість використання набору ментальних моделей в залежності від суттєвих для користувача підмножин вхідних даних. Згідно з даним принципом, набір ментальних моделей користувача для вирішення однієї задачі має такі базові характеристики:

– кожна ментальна модель відображає одну з можливостей щодо прийняття рішення;

– міркування щодо вибору або формування рішення відбувається в умовах невизначеності, з урахуванням альтернативних неповних наборів вхідних даних.

Остання властивість характеризує типову ситуацію щодо неповноти або неоднозначності інформації щодо властивостей цільового рішення, які відповідають потребам користувача.

З урахуванням (2), принцип П2 множинності ментальних моделей $M = \{M_i\}$ має таке формальне представлення:

$$\begin{aligned} \text{П2:1)} & (\forall i \neq l) M_i \cap M_l \neq \emptyset, \\ & 2) (\forall M_i \neq M_l) \exists m \neq k : v_{i,j}^m \in M_i \setminus M_l. \end{aligned} \quad (3)$$

Згідно з П2, кожна модель містить набір базових властивостей $v_{i,j}^k$, наявність яких є необхідною умовою для прийняття рішення, та додаткові властивості $v_{i,j}^m$, які становлять достатню умову для вибору або формування варіанта рішення.

Розглянемо приклад імплементації даного принципу для систем електронної комерції в ситуації пошуку нового смартфона в інтернет-магазині. При вирішенні даної задачі

користувач зазвичай має певний список вимог до характеристик смартфона (наприклад, щодо роздільної здатності камери, об'єму пам'яті, ціни тощо). Вебсторінки з рекомендованими моделями смартфонів забезпечують альтернативні можливості покупок, для яких визначаються підмножини схожих $M_i \cap M_l$ і підмножини різних властивостей $\{v_{i,j}^m\}$. Кожне з цих рекомендованих рішень є сумісним із наявною інформацією про вимоги покупця. Сукупність ментальних моделей користувача відіграє ключову роль у процесі вибору смартфона серед запропонованих рекомендаційною системою варіантів. Кожна ментальна модель відповідає окремій моделі смартфона і містить інформацію про його технічні характеристики та функціональні можливості. Завдяки здатності маніпулювати множиною ментальних моделей, покупець може порівнювати різні моделі смартфонів. Під час маніпулювання ментальними моделями формується набір можливих сценаріїв використання смартфона, які враховують не лише технічні характеристики пристрою, але й відгуки та досвід інших покупців. Процес порівняння ментальних моделей дозволяє користувачеві зробити обґрунтований висновок щодо вибору смартфона, який найкраще відповідає його потребам.

Кількість можливих варіантів ментальної моделі рішення зазвичай обмежена об'ємом доступної пам'яті. Дане обмеження приводить до спрощення ментальної моделі.

Особливості спрощення моделі обумовлені **принципом неповноти вхідних даних** ПЗ для прийняття рішення. Згідно з даним принципом, при міркуваннях в рамках ментальної моделі враховуються лише бажані для прийняття рішення факти і не враховуються можливі альтернативи:

- використовуються лише ті вхідні дані, твердження щодо яких є істинними для користувача в поточному контексті [18], тобто ця підмножина даних обумовлює істинність умов для прийняття рішення користувачем;

- виключаються з моделі ті значення вхідних даних, які користувач вважає хибними або нерелевантними, тобто виключаються дані, які не дають можливості користувачеві прийняти бажане рішення.

Слід зазначити, що такий підхід до обробки інформації в рамках ментальної моделі часто приводить до когнітивних упереджень, які можуть суттєво впливати на якість прийнятих рішень, обмежуючи здатність індивіда об'єктивно оцінювати всю доступну інформацію.

Ключові відмінності ментальної моделі користувача ІС, згідно з принципом неповноти вхідних даних, полягають у такому:

- ментальна модель є спрощеною у порівнянні з логічною моделлю внаслідок виключення несуттєвих з точки зору бажаного для користувача рішення, що приводить до міркувань в умовах невизначеності та може привести до помилкових рішень;

- ментальна модель не враховує контрфакти (тобто альтернативні факти, які можуть привести до альтернативних рішень), що звужує можливість обґрунтувати вибір «найкращого» рішення.

Позначимо множини «істинних» та нерелевантних даних як $V^+ = \{V_i^+\}$ та $V^- = \{V_i^-\}$ відповідно. Тоді, згідно з даним принципом, для кожної ментальної моделі враховуються тільки релевантні для користувача вхідні дані $v_{i,j}^k$:

$$\text{ПЗ: } M_i = V_i^+ \mid (\forall i) v_{i,j}^k \in V_i^+, v_{i,j}^k \notin V_i^- . \quad (4)$$

Альтернативні факти щодо значень даних не враховуються згідно з даним принципом,

тобто $v_{i,j}^k \notin V_i^-$.

Розглянемо приклад реалізації даного принципу в ситуації вибору рекомендованого товару в системі електронної комерції. Вхідна ситуація у даному прикладі має такі характеристики. Користувач шукає смартфон на сайті інтернет-магазину. Рекомендаційна підсистема пропонує йому певну модель згідно з результатами аналізу його попередніх покупок та переглядів. Користувач має певні вимоги щодо характеристик смартфона (зокрема, розмір екрану, об'єм пам'яті, ціна тощо). Ці вимоги формують його ментальну модель «бажаного смартфона». У процесі перегляду сторінки із рекомендованими смартфонами покупець бачить інформацію про ключові характеристики різних моделей смартфонів. Але відповідно до даного принципу, в ментальній моделі покупця будуть відображені не всі рекомендовані смартфони, а лише ті, характеристики яких відповідають його вимогам. Тобто ці властивості є «істинними» в рамках його ментальної моделі «бажаного смартфона». Так істинними можуть бути такі характеристики:

- смартфон має розмір екрану 6 дюймів;
- смартфон має пам'ять 6 ГБ ;
- ціна смартфона відповідає бюджету користувача.

Тоді смартфони з меншим екраном, меншим розміром пам'яті, більшою вартістю не будуть представлені в ментальній моделі користувача. Зокрема, такі твердження щодо властивостей смартфона не будуть істинними в рамках його ментальної моделі:

- у смартфоні відсутній найновіший процесор (тобто дана характеристика не є важливою і тому не включається в ментальну модель користувача);
- батарея смартфона має невелику ємність (дана інформація не розглядалася користувачем і тому не включена в ментальну модель).

У підсумку, даний принцип дає можливість користувачеві приділити увагу лише важливим характеристикам вхідного об'єкту і тому полегшує вибір рішення, що задовольняє його вимогам. Проте ментальна модель спрощує опис цільового об'єкту. Відповідно, не враховуються його потенційні негативні характеристики. Результатом такого підходу може бути прийняття неточного рішення на основі неповної вхідної інформації. Тому при побудові пояснення щодо рішення ІС доцільно додатково надавати також інформацію щодо потенційно негативних аспектів рішення.

Принцип доповнення вхідних даних П4 дає можливість користувачеві уточнити бажане рішення з урахуванням характеристик, які, згідно з попереднім принципом, не враховані в його ментальній моделі. Згідно з даним принципом, необхідно провести додаткову оцінку рішення з урахуванням обмежень, що представляють значення властивостей із множини V_i^- .

$$\text{П4: } M_i = V_i^+ \mid V_i^- . \quad (5)$$

У практичному плані при застосуванні даного принципу використовується, наприклад, аналіз відгуків інших користувачів ІС. Такі відгуки, як правило, містять додаткові значення змінних $v_{i,j}^k$, які користувач не розглядав або вважав несуттєвими.

Як приклад імплементації даного принципу розглянемо такі додаткові властивості, які обмежують вибір:

- процесор смартфона має обмеження щодо потужності;
- батарея смартфона має обмежену ємність.

Відповідно, ментальна модель має бути доповнена такими даними з тим, щоб користувач міг зробити раціональний вибір.

У підсумку, даний принцип орієнтований на зменшення невизначеності при прийнятті рішення користувачем ІС.

5. Експериментальна перевірка принципів побудови ментальних моделей користувача інтелектуальної системи

Експериментальна перевірка удосконалених принципів виконана на основі аналізу відгуків покупців товарів на платформі електронної комерції. Як вхідні дані було використано відгуки покупців на два топових смартфони, що мають схожу цільову аудиторію. Відгуки представлено в текстовій формі. Приклад відгуку як одного з елементів вхідних даних наведено на рисунку 1.

Телефон чудовий. Хотіла купити 15 Pro max, але цей здався набагато цікавішим(особливо для роботи з таблицями excel зі стилусом дуже зручно).
Єдина проблема його нагрівання. Коли заряджається то дуже гріється верхня панель і в деяких моментах під час використання. Чи може це бути браком, чи потрібно шукати в налаштуваннях?

Переваги: Зручний, гарний, якісь фото дуже хороша.

Недоліки: Нагрівання

Рис. 1. Приклад вхідних даних

В рамках експериментальної перевірки побудовано ментальні моделі відповідних смартфонів. Представлення ключових компонентів узагальненої ментальної моделі першого смартфона має такі складові:

- дисплей: висока якість екрану, яскравість та чіткість;
- камера: покращена якість фотографій та відео, зокрема, п'ятикратний зум;
- процесор: висока продуктивність та швидкодія;
- дизайн: легкий завдяки титановому корпусу, зручний у руці.
- екосистема Apple: сумісність з іншими пристроями Apple;
- зарядка: реверсивна зарядка та тривалий час автономної роботи.

Ключові компоненти ментальної моделі другого смартфона містять в собі:

- камера: висока якість фото і відео, особливо в нічному режимі;
- екран: яскравість, кольори, антибліковість і зручність великого екрану;
- швидкодія: висока продуктивність і швидкість роботи телефону;
- батарея: хороша автономність, телефон «тримає» 1-3 дні;
- дизайн і матеріали: приємний зовнішній вигляд, якісні матеріали корпусу;
- S Pen: стилус є зручним доповненням, особливо для рукописного вводу;
- додаткові функції: корисність нових можливостей на базі штучного інтелекту,

наприклад, покращення фото, розпізнавання об'єктів тощо.

В таблиці 1 наведено узагальнені ментальні моделі користувачів смартфонів згідно з принципами П1-П3 та з урахуванням кількості користувачів, що відзначили відповідні елементи цих моделей. Напівжирним шрифтом виділено спільні для обох моделей властивості смартфонів.

За результатами аналізу відгуків сформовано доповнення даних в ментальних моделях смартфонів (таблиця 2).

Доповнена ментальна модель першого смартфона містить такі властивості:

- нагрівання: телефон відчутно нагрівається при активному використанні;
- автономність: є користувачі, яким не вистачає заряду навіть на один день;
- ціна: вартість телефону є завищеною;
- вага і розмір: телефон важкуватий і великий, до цього потрібно звикнути;

Таблиця 1

Властивість	Ментальні моделі смартфонів для зовнішніх користувачів	
	Кількість користувачів	
	Модель 1	Модель 2
Камера	47	15
Екран/дисплей	39	12
Процесор/швидкодія	31	5
Дизайн і матеріали	25	8
Батарея	22	3
Екосистема		4
S Pen	18	
Штучний інтелект	12	

Таблиця 2

Доповнення характеристик ментальних моделей смартфонів згідно з принципом П4

Властивість	Кількість користувачів	
	Модель 1	Модель 2
Ціна	7	7
Нагрівання	9	
Автономність	8	
Вага і розмір	6	
Звук	4	
Проблеми з сигналом	3	
Відсутність аксесуарів		5
Проблеми з оновленнями		4
Матеріали корпусу		3

- звук: недостатня гучність і якість звуку динаміків;
 - проблеми з сигналом: погано «ловить» сигнал мережі в деяких умовах.
- Доповнена ментальна модель другого смартфона містить такі властивості:
- ціна: занадто висока ціна;
 - відсутність аксесуарів: у комплекті немає зарядного блоку та чохла;
 - проблеми з оновленнями: баги в IOS;
 - якість матеріалів корпусу: титановий корпус не є повністю титановим, лише рамка.

6. Обговорення результатів

Результати експериментальної перевірки принципів побудови ментальних моделей свідчать, що ментальні моделі користувачів містять інформацію про ключові структурні елементи цільового об'єкту. Тобто ментальна модель є спрощеним представленням цього об'єкту, що відповідає принципу П1. Користувачі мають схожі набори характеристик смартфонів та підмножини характеристик V_i^- , які відрізняють ці моделі, що відповідає принципу П2. При виборі цільового об'єкту користувачі використовують підмножини характеристик V_i^+ згідно з П3. Після використання виявляються недоліки V_i^- , які не розглядалися при прийнятті рішення, що відповідає принципу П4.

За результатами експериментальної перевірки наведених принципів можна зробити висновок, що пояснення для зовнішнього (кінцевого) користувача має бути двохаспектним та відображати позитивні і негативні аспекти цільового рішення. Тобто у позитивному аспекті пояснення надає інформацію щодо відповідності рішення вхідним вимогам та

побажанням користувача. В негативному аспекті пояснення задає контекстно-орієнтовані обмеження на використання отриманого рішення ІС.

Розглянутий підхід до може бути застосований також і до внутрішніх користувачів у тому випадку, якщо вони одночасно є і зовнішніми користувачами. Згідно з принципом П4, вхідні дані ІС можуть бути доповнені обмеженнями. Ці обмеження представляються параметрами, які, згідно з принципом П3, не були представлені у початковій ментальній моделі зовнішнього користувача. Дана адаптація процесу формування рішення в ІС дає можливість виключити ті рішення, які не будуть відповідати відомим типовим вимогам схожих користувачів.

Практична імплементація пояснення щодо негативних аспектів рішення потребує додаткового аналізу контексту його використання. Такий аналіз може бути виконано на основі автоматизованої обробки відгуків користувачів щодо можливостей та обмежень застосування цільового рішення. Тому подальший напрямок досліджень пов'язаний із розробкою підходів до імплементації принципу П4 на основі зворотного зв'язку від користувачів.

8. Висновки

В рамках даного дослідження адаптовано існуючі принципи побудови ментальних моделей людиною з урахуванням відмінностей побудови пояснень щодо рішення в ІС, представлених у вигляді «чорної скриньки». Адаптовані принципи враховують відповідність структури ментальної моделі та рішення, множинність ментальних моделей щодо рішення, неповноту вхідних даних для прийняття рішення. Удосконалені принципи відрізняються від існуючих представленням ментальної моделі рішення у вигляді переліку суттєвих для користувачів значень його властивостей, що мають схожі та відмінні елементи для різних варіантів рішення. Такий підхід дає можливість обґрунтувати рішення в рамках пояснення на основі порівняння кількості користувачів, які враховують різні властивості цього рішення. Запропоновано принцип доповнення вхідних даних, який полягає у використанні нерелевантних з точки зору користувача значень властивостей рішення для обмеження множини релевантних рішень. Використання даного принципу при побудові пояснення дає можливість врахувати негативні аспекти використання отриманого рішення і тим самим спростити користувачеві його вибір та застосування.

Перелік посилань:

1. Kordon, A. (2016). Intelligent Systems in Industry. *Innovative Issues in Intelligent Systems. Studies in Computational Intelligence*, 623, 1-31. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27267-2_1
2. Nassih, R., & Berrado, A. (2020). State of the art of fairness, interpretability and explainability in machine learning: Case of prim. *Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications*, 1-5. doi: <https://doi.org/10.1145/3419604.3419776>
3. 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. doi: <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00114-7>
4. Rook, L. (2021). Mental models: A robust definition. *The Learning Organization*, 28(1), 6-17. doi: <https://doi.org/10.1108/TLO-09-2019-0136>
5. Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138-52160. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>
6. Gunning i D. Aha, (2019). DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program. *AI Magazine*, 40(2), 44-58. doi: <https://doi.org/10.1609/aimag.v40i2.2850>
7. Miller T. (2019). Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. *Artificial Intelligence*, 267, 1-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.07.007>
8. Tversky, B. (2019). Mind in motion: How action shapes thought. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(11), 935-944. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.08.007>
9. Чалий С. Ф., Лещинський В. О., Лещинська І. О. (2021). Контрфактуальна темпоральна модель причинно-наслідкових зв'язків для побудови пояснень в інтелектуальних системах/ Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Системний аналіз, управління та інформаційні технології = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser.: System analysis, control and information technology: зб. наук. пр.

Харків: НТУ «ХПІ», 2 (6), 41-46.

10. Chala O. (2018). Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*, 7, 3. 53–58.

11. 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), 14-18. doi: 10.20998/2079-0023.2020.01.03

12. Chalyi, S., & Leshchynskiy, V. (2020). Temporal representation of causality in the construction of explanations in intelligent systems. *Advanced Information Systems*, 4(3), 113–117. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.16>

13. Чалий С. Ф., Лещинський В. О., Лещинська І. О. (2021). Контрфактуальна темпоральна модель причинно-наслідкових зв'язків для побудови пояснень в інтелектуальних системах, / *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Системний аналіз, управління та інформаційні технології = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser.: System analysis, control and information technology : зб. наук. пр. – Харків: НТУ "ХПІ", № 2 (6), С. 41-46.*

14. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.01>

15. Roese, N. J., & Epstude, K. (2017). The functional theory of counterfactual thinking: New evidence, new challenges, new insights. *Advances in experimental social psychology*, 56, 1-79). Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.aesp.2017.02.001>

16. Byrne, R. M. (2002). Mental models and counterfactual thoughts about what might have been. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(10), 426-431. doi: [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01974-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01974-5)

17. Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.

18. Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford University Press.

Надійшла до редколегії 25.04.2024 р.

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

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