

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

### **ДЕКЛАРАТИВНО-ТЕМПОРАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ПОЯСНЕНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Предметом дослідження є процеси побудови пояснень щодо запропонованих інтелектуальною інформаційною системою рішень. Пояснення подає в упорядкованому вигляді знання щодо результатів роботи інтелектуальної системи з урахування контексту його побудови. Мета полягає в розробці підходу до побудови опису знань для представлення пояснення, що забезпечує можливість тлумачення рішень інтелектуальної системи в онлайн-режимі, з використанням найбільш актуальних залежностей щодо стану предметної області та потреб користувача. Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі: постановка узагальненої задачі формування пояснення та формування принципів її вирішення; визначення принципів побудови опису знань для пояснення; розробка підходу до побудови пояснення на основі інтеграції декларативного опису предметної області та темпорального опису процесу прийняття рішення. Запропоновано узагальнену постановку задачі формування пояснення у формі знаходження моделі тлумачення, що дає можливість мінімізувати неточність опису процесу отримання рішення відносно моделі процесу функціонування інтелектуальної системи в умовах обмежень на складність пояснення. Сформульовано принципи вирішення задачі побудови пояснення, які передбачають послідовне формування декларативного опису предметної області у вигляді відповідної онтології, а також опису процесу прийняття рішення в інтелектуальній системі на основі темпоральних правил, що дає можливість адаптувати пояснення на основі формального опису змін у предметній області. Запропоновано декларативно-темпоральний підхід до побудови пояснення в інтелектуальній інформаційній системі. Згідно даного підходу послідовно вирішуються задачі деталізації цілей пояснення в рамках визначеної концепції на основі використання онтології предметної області, формування пояснення з урахуванням структури інтелектуальної системи та взаємодії її складових, персоналізації пояснення у відповідності до вподобань користувача. Даний підхід дає можливість оперативно актуалізувати витлумачення, що створює умови для побудови пояснень в режимі онлайн.

**Ключові слова:** пояснення; знання; інтелектуальна інформаційна система; темпоральні правила; вимоги до пояснення.

**С. Ф. ЧАЛЫЙ, В. А. ЛЕЩИНСКИЙ, И. А. ЛЕЩИНСКАЯ**

### **ДЕКЛАРАТИВНО-ТЕМПОРАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ОБЪЯСНЕНИЙ В ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Предметом исследования являются процессы построения объяснений для предложенных интеллектуальной информационной системой решений. Пояснение представляет в упорядоченном виде знания о результатах работы интеллектуальной системы с учетом контекста его построения. Цель заключается в разработке подхода к построению описания знаний для представления объяснения, обеспечивающего возможность толкования решений интеллектуальной системы в онлайн-режиме, с использованием наиболее актуальных зависимостей, отражающих состояние предметной области и потребности пользователя. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: постановка обобщенной задачи формирования объяснения и формирование принципов ее решения; определение принципов построения описания знаний для объяснения; разработка подхода к построению объяснений на основе интеграции декларативного описания предметной области и темпорального описания процесса принятия решения. Предложена обобщенная постановка задачи формирования объяснения, ориентированная на нахождение модели пояснения, которая позволяет минимизировать неточности описания процесса получения решения относительно модели процесса функционирования интеллектуальной системы в условиях ограничений на сложность объяснения. Сформулированы принципы решения задачи построения объяснения, которые предусматривают последовательное формирование декларативного описания предметной области в виде соответствующей онтологии, а также описание процесса принятия решения в интеллектуальной системе на основе темпоральных правил, дает возможность адаптировать объяснение на основе формального описания изменений в предметной области. Предложен декларативно-темпоральный подход к построению объяснений в интеллектуальной информационной системе. В соответствии с данным подходом последовательно решаются задачи детализации целей объяснения в рамках заданной концепции на основе онтологии предметной области, формирования объяснения с учетом структуры интеллектуальной системы и взаимодействия ее составляющих, персонализации объяснения в соответствии с предпочтениями пользователя. Данный подход дает возможность оперативно актуализировать пояснения, что создает условия для построения объяснений в режиме онлайн.

**Ключевые слова:** объяснения; знания; интеллектуальная информационная система; темпоральные правила; требования к объяснению.

**S. CHALYI, V. LESHCHYNSKYI, I. LESHCHYNSKA**

### **DECLARATIVE-TEMPORAL APPROACH TO THE CONSTRUCTION OF EXPLANATIONS IN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS**

The subject of the research is the processes of constructing explanations for the solutions proposed by the intelligent information system. The explanation provides in an orderly manner knowledge about the solution of the intelligent system, taking into account the context of its construction. The aim is to develop an approach to constructing a description of knowledge to provide an explanation that provides the ability to interpret intelligent system solutions online, using the most relevant dependencies on the state of the subject area and user needs. To achieve this goal, the following tasks are solved: setting a generalized problem of forming an explanation and principles for its solution; definition of principles of construction of the description of knowledge for explanation; developing an approach to constructing an explanation based on the integration of a declarative description of the subject area and a temporal description of the decision-making process. A generalized formulation of the problem of forming an explanation in the form of finding an interpretation model is proposed, which makes it possible to minimize the inaccuracy of the description of the decision-making process regarding the model of the intelligent system functioning process in the conditions of explanation complexity. The principles of solving the problem of constructing an explanation are formulated, which provide for the consistent formulation of a declarative description of the subject area in the form of an appropriate ontology, as well as a description of the decision-making process in the intellectual system based on temporal rules. A declarative-temporal approach to constructing an explanation in an intelligent information system is proposed. According to this approach, the tasks of detailing the goals of the explanation within the defined concept are consistently solved on the basis of the ontology of the subject area, the explanation is formed taking into account the structure of the intelligent system and the interaction of its components, personalization of the explanation according to user preferences. This approach makes it possible to update the interpretation, which creates the conditions for building explanations online.

**Keywords:** explanation; knowledge; intelligent information system; temporal rules; requirements for explanation.

**Вступ.** Сучасні інтелектуальні інформаційні системи вирішують неструктуровані або частково структуровані задачі з використанням складних алгоритмів. Для того, щоб така система була «прозорою» для користувача, рішення, що вона пропонує, доповнюють поясненнями [1, 2]. Пояснення мають обґрунтовувати запропоновані інтелектуальною системою результати аналогічно людині – спеціалісту у відповідній предметній області. В останні роки значну увагу приділяють властивості самопояснювання інтелектуальних систем. Рішення та процес роботи такої системи може бути безпосередньо інтерпретований користувачем [3].

Важливість пояснень пов'язана також із тим, що сучасні методи обчислювального інтелекту використовують неявні, неочевидні для користувача знання. Зокрема, в алгоритмі колаборативної фільтрації латентні фактори визначають вподобання користувача [4]. Ці фактори виявляються шляхом матричної факторизації і тому вони безпосередньо не можуть виступати в якості обґрунтування вподобань для відповідного користувача. В такому випадку необхідно сформулювати додаткове пояснення, що обґрунтовує отримане рішення для споживачів.

В цілому пояснення подає в деталізованому та упорядкованому вигляді знання щодо сформованого інтелектуальною системою рішення та контексту його побудови, підвищує ступінь довіри до цього рішення та ефективність його використання, що як наслідок, призводить до збільшення кількості користувачів такої системи.

Таким чином, проблема побудови пояснень з урахуванням знань щодо стану предметної області, структури та механізму функціонування інтелектуальної системи, а також вподобань користувача є актуальною. Вирішення цієї проблеми дає можливість спростити використання запропонованого інтелектуальною системою рішення, а також адаптувати процес його формування з урахуванням потреб користувача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні підходи до побудови пояснень [1] базуються на двох ключових ідеях: використання опису внутрішнього механізму прийняття рішення в інтелектуальній системі та використання схожості процесів прийняття рішень. Перша ідея реалізує принцип білого ящика і була запропонована при розробці підходів до побудови пояснень в експертних системах [4], де вважалось, що послідовність правил логічного виводу є елементом пояснення отриманого результату [5]. Друга ідея базується на принципі чорного ящика та знайшла своє використання в системах на основі прецедентів [6], де прийняте прецедентне рішення є обґрунтуванням процесу прийняття схожих рішень у існуючій інтелектуальній системі.

Сьогодні при побудові пояснень використовується комбінація двох розглянутих підходів. Наприклад, в системах електронної комерції для пояснення використовують популярність товарів, значення рейтингів, схожість інтересів користувачів або характеристик товарів [4].

Підхід на основі чорного ящика для формування пояснень реалізується шляхом побудови баз знань, що містять можливі логічні залежності та обмеження, суттєві для прийняття рішення в інтелектуальній системі [7, 8]. Підхід до побудови пояснень з урахуванням потреб користувачів запропоновано в роботі [9].

Аналіз існуючих підходів дозволяє зробити висновок, що вони враховують структуру й властивості предметної області та інтелектуальної системи, а також інтереси користувача. Однак темпоральному аспекту, що відображає зміни інтересів користувача з часом, а також зміни у предметній області, не приділяється достатньо уваги.

Пояснення без врахування змін у предметній області може не враховувати ключових кроків з формування рішення в інтелектуальній системі. В результаті тлумачення можуть бути схожими для різних рішень, що знижує довіру користувача. З іншого боку, врахування темпорального аспекту дає можливість актуалізувати знання щодо предметної області та користувача, що є особливо важливим для прийняття рішень в онлайн-режимі [10].

Двохаспектний підхід потребує побудови комбінованого, декларативно-темпорального опису знань, що будуть використані у поясненнях. Декларативний аспект задається залежностями, що відображають послідовність дій із прийняття рішень у часі. Для відображення таких залежностей можуть бути використані темпоральні правила [11, 12] та обмеження [13], або ж темпоральні графи [14].

**Метою цієї статті** є розробка декларативно-темпорального підходу до опису знань щодо пояснень з урахуванням зміни цих знань з часом. Побудова опису знань для представлення пояснення має забезпечити можливість тлумачення результату інтелектуальної системи у онлайн-режимі, з використанням останніх, найбільш актуальних залежностей щодо стану предметної області та потреб користувача.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких задач:

- постановка узагальненої задачі формування пояснення та формулювання принципів її вирішення;
- визначення принципів побудови опису знань для пояснення щодо запропонованих інтелектуальною системою рішень з тим, щоб забезпечити узгодженість та актуальність вказаних знань;
- розробка підходу до побудови пояснення на основі інтеграції декларативного опису предметної області та темпорального опису процесу прийняття рішення.

#### **Декларативно-темпоральний підхід до побудови пояснень.**

Користувач інтелектуальної системи у складі пояснення має побачити відомі йому факти а також залежності між цими фактами, що базуються на відомих та зрозумілих для користувача концепціях, структурах, алгоритмах. Наявність відомих понять, концептів та зрозумілих зв'язків між цими поняттями робить «прозорим» як саме пояснення, так і процес

прийняття рішення в інтелектуальній системі і, відповідно, сприяє підвищенню довіри користувача інтелектуальної системи.

Узагальнена модель пояснення  $p$ , що відповідає таким вимогам, належить до класу моделей  $P$ , що можуть бути безпосередньо інтерпретовані. Форма представлення залежностей та концепцій у моделях даного класу має відповідати типовим, зрозумілим для користувача, законам предметної області. Така прозора форма представлення забезпечується, наприклад, за допомогою правил «if-then», темпоральних правил, дерев рішень, з використанням лінійних моделей, тощо.

Для того, щоб пояснення відображало процес вирішення задачі в інтелектуальній системі, область визначення моделі  $\text{dom } p$  має охоплювати всі різноманітні дані, що можуть бути використані для формування пояснення. Наприклад, факти, що відображають стани інтелектуальної системи або її підсистем у процесі формування рішення, дані, які використовувались елементами системи на різних етапах прийняття рішення, тощо. Тому область визначення моделі пояснення для  $n$  вхідних елементів доцільно розглядати з точки зору доступності цих елементів та задати аналогічно області визначення булевої функції:  $\text{dom } p = \{0, 1\}^n$ .

Інтерпретаційні можливості моделі  $p$  значною мірою залежать від її складності. Більш складна модель забезпечує побудову детальніших пояснень. Складність  $O(p)$  моделей розглянутих класів може бути визначена через кількість елементів. Наприклад, через кількість правил, що були використані для побудови пояснення. Очевидно, що незначна кількість правил дає можливість побудувати спрощене і неточне пояснення. З іншого боку, збільшення розміру множини правил призводить до надлишкової деталізації і відповідних обчислювальних витрат, що ускладнює своєчасне формування пояснення. Тому складність доцільно розглядати як обмеження в задачі побудови пояснень.

Задача побудови пояснення полягає в тому, щоб підібрати таку модель  $p$ , що дає можливість мінімізувати неточність  $l(p(x), m(x))$  пояснення щодо моделі функціонування інтелектуальної системи  $m$  при використанні однакових вхідних даних  $x$  за умов обмеження по складності моделі пояснення  $O(p)$ :

$$p' = \underset{p \in P}{\text{argmin}} l(p(x), m(x)) | O(p). \quad (1)$$

Деталізація загальної постановки задачі побудови пояснення виконується наступним чином.

По-перше, визначається клас моделей пояснень  $P$ . Клас задає типи залежностей, які будуть використані при побудові пояснення. Наприклад, каузальні залежності визначають причинно-наслідкові зв'язки між фактами, темпоральні залежності задають послідовність фактів у часі, онтології формують семантичні зв'язки між поняттями у предметній області.

По-друге, в залежності від класу  $P$  задаються обмеження на складність моделі, або допустимий

діапазон складності. В якості показника складності можуть виступати не лише кількість елементів моделі, але й кількість зв'язків між елементами, кількість рівнів ієрархії, кількість типів залежностей, тощо.

По-третє, для класу  $P$  визначається модель (або метод) обчислення неточності  $l$ , тобто ступеню невідповідності між поясненням та отриманим результатом роботи інтелектуальної системи. Для обчислення  $l$  може, наприклад, бути використаний метод KNN (найближчого сусіда).

В четвертих, визначаються можливі відмінності вхідних даних для моделей пояснення  $p(x)$  та функціонування інтелектуальної системи  $m(x)$ . Згідно постановки (1) обидві моделі мають використовувати однакові набори вхідних даних. Однак при побудові пояснення доступ до набору вхідних даних  $x$  може бути обмеженим з комерційних міркувань, внаслідок заходів безпеки, тощо. В такому випадку використовується підмножина вхідних даних, або ж вторинні дані  $v(x)$ , які фіксують використання вхідних даних  $x$  в процесі роботи інтелектуальної системи. Неточність при використанні вторинних даних у поясненні має вигляд:  $l(p(v(x)), m(x))$ . Прикладом вторинних даних для побудови пояснень є логи (журнали подій) інтелектуальної інформаційної системи. Такі логи відображають послідовність виконання операцій з досягнення кінцевого результату і містять записи про значення заданої підмножини змінних після виконання кожної операції в інформаційній системі.

В-п'ятих, деталізована постановка задачі може бути доповнена додатковим обмеженням узгодженості даних та залежностей між цими даними. Концепція узгодженості в темпоральному аспекті полягає в тому, щоб визначити базові факти та залежності і потім узгодити з ними всі інші дані на базі реалізованої послідовності дій процесу прийняття рішення в інтелектуальній системі. Базові факти залежать від вхідних даних процесу прийняття рішення та інформації про запити й дії користувача. Обмеження узгодженості полягає в тому, щоб довільна підмножина темпорально упорядкованого набору фактів та дій пояснювала відповідні складові переходу від вхідних даних до поточного стану інтелектуальної системи.

При вирішенні задачі побудови пояснення  $p'$  у постановці (1) пропонується використовувати такі принципи.

1) Пояснення дій з отримання результату в інтелектуальній системі має базуватись на множині відомих користувачеві фактів із визначеної предметної області; дана множина фактів відповідає концепції, згідно якої формується пояснення.

2) Пояснення має формувати упорядковану множину (послідовність) залежностей між відомими користувачу фактами та отриманими рішеннями інтелектуальної системи в рамках загальноприйнятних або спеціалізованих та відомих користувачу концепцій.

3) Множина залежностей між даними може відображати ієрархічні, функціональні, просторові, атрибутивні, а також причинно-наслідкові та темпоральні зв'язки, що описують контекст та

послідовність прийняття рішень в інтелектуальній системі.

Згідно першого принципу, для побудови пояснень необхідно сформувати онтологію предметної області, що відображає сприйняття цієї області користувачем. Наприклад, для рекомендаційних систем опис предметної області має, у відповідності із вподобаннями користувача, містити як інформацію про загальну популярність товарів або послуг, так і про їх характеристики, що є суттєвими для користувача.

Згідно другого принципу, пояснення має базуватись на загальному методі, концепції, тощо, що відображає ключові причини вибору відповідного рішення інтелектуальною інформаційною системою. Наприклад, для систем підтримки страхування в медицині використовується концепція профілактичних заходів щодо підтримки стану здоров'я користувача.

Згідно третього принципу, пояснення має забезпечити такі результати:

- показати, яким способом дії інтелектуальної інформаційної системи дають можливість досягти цілей користувача;
- деталізувати, як формується послідовність дій реалізованих дій;
- визначити, яка (або яким чином) послідовність дій із досягнення цілі буде сформована у майбутньому.

Сукупність наведених принципів створює базу для формування пояснення у вигляді узагальненої залежності між вхідними даними інтелектуальної системи та проміжним або кінцевим результатом її роботи. Тобто кожне пояснення задає ланцюжок правил, які із заданим ступенем деталізації описують послідовність переходу від вхідних даних до отриманого рішення. Такий ланцюжок може складатись із темпоральних або причинно-наслідкових залежностей  $f_j$ , які стають істинними у послідовні дискретні моменти часу  $t_i$  та є попарно узгодженими між собою у сенсі, що результат одного правила є необхідним для виконання наступного. Позначивши узгодженість залежностей  $f_j$  та  $f_{j+1}$  як  $f_j \sim f_{j+1}$ , отримаємо таку реалізацію пояснення, представленого моделлю  $p$ :

$$p_i = \langle f_{1j}, \dots, f_{ij}, f_{ij+1}, \dots : (\forall i) f_i \sim f_{i+1} \rangle. \quad (2)$$

Запропонований двохаспектний підхід до побудови пояснення (рис. 1) передбачає вирішення таких задач:

- деталізація цілей пояснення на основі опису структури та властивостей предметної області;
- конфігурування пояснення з урахуванням структури інтелектуальної системи та з використанням зворот.
- індивідуалізація цілей пояснення з використанням моделі користувача, яка відображає його інтереси щодо результату інтелектуальної інформаційної системи.

Перша та третя задачі використовують принцип чорного ящика при побудові пояснення, а друга – розкриває внутрішню структуру системи, тобто базується на принципі білого ящика.

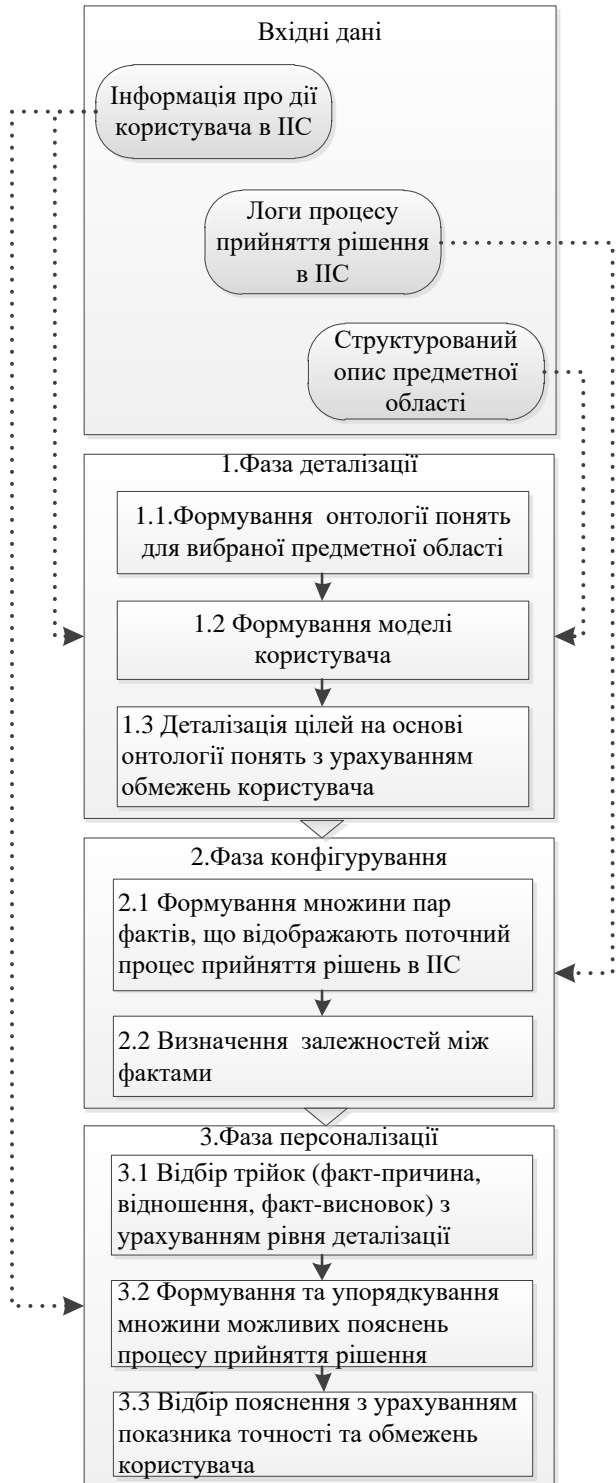


Рис. 1. Послідовність фаз декларативно-темпорального підходу до побудови пояснень

Задача деталізації цілей вирішується на першій фазі даного підходу.

Деталізація цілей полягає у розкритті глобальної цілі множиною локальних цілей. Така деталізація, згідно першого принципу побудови пояснень, базується на ієрархії понять, що описують ці цілі.

Деталізація цілей, згідно другого принципу, виконується у випадку, коли пояснення не містить

відомої користувачеві концепції, або узагальненого підходу до досягнення поточної цілі. Розділення цілі дає можливість виявити пов'язані із підцілями загальні методи, що забезпечують досягнення локальних результатів. Упорядкування послідовності локальних результатів у часі згідно третього принципу дає можливість представити загальну концепцію досягнення результату як процес із послідовно досягнутих локальних цілей.

Таким чином, деталізація цілей базується на використанні онтології понять, а також додатково має враховувати темпоральну упорядкованість дій із досягнення локальних цілей в рамках визначеної концепції побудови пояснення.

На другій фазі формуються базові елементи пояснення. Такі базові елементи задають упорядкованість для довільних пар фактів. Темпоральна упорядкованість, на відміну від каузальної, дає можливість зв'язати довільні пари фактів відношенням послідовності у часі. Такі факти можуть бути істинними як послідовно у часі, так і через значні проміжки часу. В останньому випадку задаються темпоральні рамки процесу «дані-результат», які потім деталізуються проміжними, більш короткими темпоральними залежностями.

Фаза персоналізації передбачає попередню побудову декількох варіантів пояснень на основі базових залежностей, отриманих на попередній фазі. Ці темпоральні залежності упорядковуються в часі, що створює умови для задоволення обмеження узгодженості. Потім із множини можливих пояснень відбираються такі, що відповідають обмеженням користувача. Результуюче пояснення має найбільше значення показника точності згідно постановки задачі (2).

При використанні даного підходу використовується комбінація вхідних даних про предметну область, про дії користувача в інтелектуальній системі, а також про дії з прийняття рішення в ІС. Записи про послідовності дій містять темпоральну інформацію, що дає можливість сформувати відповідний аспект пояснення.

**Висновки.** Запропоновано узагальнену постановку задачі формування пояснення: знаходження такої моделі, що мінімізує неточність опису процесу досягнення результату відносно моделі функціонування інтелектуальної системи при заданому обмеженні на складність пояснення.

Сформульовано принципи вирішення задачі формування пояснення в узагальненій постановці, які передбачають послідовне формулювання декларативного опису предметної області у вигляді відповідної онтології, а також опису процесу прийняття рішення на основі темпоральних правил, що дає можливість адаптувати пояснення з урахуванням темпоральних змін у предметній області.

Запропоновано декларативно-темпоральний підхід до побудови пояснення в інтелектуальній системі. В рамках даного підходу послідовно вирішуються задачі деталізації цілей пояснення на основі онтології предметної області, конфігурування пояснення з урахуванням структури інтелектуальної системи,

персоналізації пояснення з урахуванням вподобань користувача.

Даний підхід дає можливість актуалізувати пояснення, що створює умови для побудови пояснень в режимі онлайн.

#### Список літератури

- Swartout W., Moore J. Explanation in Second Generation Expert Systems. David J.-M., Krivine J.-P., Simmons R. (ed) *Second generation expert systems*, Springer-Verlag. 1993. P. 543–585.
- Tintarev N., Masthoff J. A survey of explanations in recommender systems. The 3rd international workshop on web personalisation, recommender systems and intelligent user interfaces (WPRSIU'07). 2007. P. 801–810.
- Arrieta A. B., Rodríguez N. A., Ser J.D., Bennetot A., Tabik S., González A. B., García S., Gil-López S., Molina D., Benjamins V.R., Chatila R., Herrera F. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxonomies, Opportunities and Challenges toward Responsible AI. *Information Fusion*, Elsevier B.V. 2019. P. 1–72.
- Aggarwal, C. C.: Recommender Systems. Springer, New York. 2017. 498 p.
- Núñez H., Angulo C., Català A. Rule-based learning systems for support vector machines. *Neural Processing Letters*. 2006. Vol. 24. P. 1–18.
- Cunningham P., Doyle D., Loughrey J. An evaluation of the usefulness of case-based reasoning explanation. *Proceedings of the International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR 2003)*. Trondheim, Springer. 2003. P. 122–130.
- Donadello I., Dragoni M., Eccher C. Persuasive explanation of reasoning inferences on dietary data. *First Workshop on Semantic Explainability ISWC 2019*. 2019. P. 1–16.
- Donadello I. Semantic image interpretation-integration of numerical data and logical knowledge for cognitive vision. *Information and Communication Technology, University of Trento*. 2018. P. 141.
- Чалий С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. Моделювання пояснень щодо рекомендованого переліку об'єктів з урахуванням темпорального аспекту вибору користувача. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Том 6, № 58. С. 97–101.
- Daher J., Brun A., Boyer A. A. A review on explanations in recommender systems. *Technical Report*. LORIA Université de Lorraine. 2017. P. 1–26.
- Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018. Vol. 5. P. 3–10.
- Levykin V., Chala O. Development of a method for the probabilistic inference of sequences of a business process activities to support the business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5/3(95). P. 16–24.
- Chalyi S., Leshchynskyi V., Leshchynska I. Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. Vol. 4. P. 34–40.
- Chalyi S., Pribylnova I. The method of constructing recommendations online on the temporal dynamics of user interests using multilayer graph. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. Vol. 3. P. 13–19.

#### References (transliterated)

- Swartout W., Moore J. Explanation in Second Generation Expert Systems. David J.-M., Krivine J.-P., Simmons R. (ed) *Second generation expert systems*, Springer-Verlag. 1993, pp. 543–585.
- Tintarev N., Masthoff J. A survey of explanations in recommender systems. *The 3rd international workshop on web personalisation, recommender systems and intelligent user interfaces (WPRSIU'07)*. 2007, pp. 801–810.
- Arrieta A. B., Rodríguez N. A., Ser J.D., Bennetot A., Tabik S., González A. B., García S., Gil-López S., Molina D., Benjamins V.R., Chatila R., Herrera F. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxonomies, Opportunities and Challenges toward Responsible AI. *Information Fusion*, Elsevier B.V. 2019, pp. 1–72.
- Aggarwal, C. C.: Recommender Systems. Springer, New York. 2017, 498 p.

5. Núñez H., Angulo C., Català A. Rule-based learning systems for support vector machines. *Neural Processing Letters*. 2006, vol. 24, pp. 1–18.
6. Cunningham P., Doyle D., Loughrey J. An evaluation of the usefulness of case-based reasoning explanation. *Proceedings of the International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR 2003)*. Trondheim, Springer. 2003, p. 122–130.
7. Donadello I., Dragoni M., Eccher C. Persuasive explanation of reasoning inferences on dietary data. *First Workshop on Semantic Explainability ISWC 2019*. 2019, pp.1–16.
8. Donadello I. Semantic image interpretation-integration of numerical data and logical knowledge for cognitive vision. *Information and Communication Technology, University of Trento*, 2018, pp. 141.
9. Chalyi S. F., Leshchynskiy V. O., Leshchynska I. O. Modelyuvannya poyasnen shodo rekomendovanogo pereliku ob'ektiv z urahuvannyam temporalnogo aspektu vioru koristuvacha [Modeling explanations for the recommended list of items based on the temporal dimension of user choice]. *Sistemi upravlinnya, navigaciyi ta zv'yazku* [Control, Navigation and Communication Systems], 2019, vol. 6, no. 58, pp. 97–101.
10. Daher J, Brun A., Boyer A. A. A review on explanations in recommender systems. *Technical Report*. LORIA Université de Lorraine. 2017, pp. 26.
11. Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018, vol. 5, pp. 3–10.
12. Levykin V., Chala O. Development of a method for the probabilistic inference of sequences of a business process activities to support the business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, vol. 5/3(95), pp. 16–24.
13. Chalyi S., Leshchynskiy V., Leshchynska I. Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019, vol. 4, pp. 34–40.
14. Chalyi S., Pribylnova I. The method of constructing recommendations online on the temporal dynamics of user interests using multilayer graph. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019, vol. 3, pp. 13–19.

*Надійшла (received) 21.10.2020*

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Чалий Сергій Федорович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: [serhii.chalyi@nure.ua](mailto:serhii.chalyi@nure.ua)

**Лециньський Володимир Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри програмної інженерії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>; e-mail: [volodymyr.leshchynskiy@nure.ua](mailto:volodymyr.leshchynskiy@nure.ua)

**Лециньська Ірина Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри програмної інженерії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>; e-mail: [iryna.leshchynska@nure.ua](mailto:iryna.leshchynska@nure.ua)

**Чалий Сергій Федорович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: [serhii.chalyi@nure.ua](mailto:serhii.chalyi@nure.ua)

**Лециньский Владимир Александрович** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры программной инженерии, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>; e-mail: [volodymyr.leshchynskiy@nure.ua](mailto:volodymyr.leshchynskiy@nure.ua)

**Лециньская Ирина Александровна** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры программной инженерии, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>; e-mail: [iryna.leshchynska@nure.ua](mailto:iryna.leshchynska@nure.ua)

**Chalyi Serhii Fedorovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Information Control System, Kharkiv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: [serhii.chalyi@nure.ua](mailto:serhii.chalyi@nure.ua)

**Leshchynskiy Volodymyr Oleksandrovich** – PhD, Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Kharkiv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>; e-mail: [volodymyr.leshchynskiy@nure.ua](mailto:volodymyr.leshchynskiy@nure.ua)

**Leshchynska Irina Oleksandrivna** – PhD, Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Kharkiv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>; e-mail: [iryna.leshchynska@nure.ua](mailto:iryna.leshchynska@nure.ua)