

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ ТА ПОПОВНЕННЯ ТЕМПОРАЛЬНОЇ БАЗИ ЗНАНЬ В ЗАДАЧАХ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Чала О. В.

1. Вступ

Сучасний стан організаційного управління характеризується широким використанням баз знань (БЗ) для підтримки управлінських рішень при розв'язанні частково структурованих та неструктурованих задач. Процес прийняття управлінських рішень передбачає формування набору альтернативних контекстно-залежних наборів управляючих дій, а також вибір й імплементацію відібраного рішення. Цей вибір здійснюється особою, що приймає рішення (ОПР). Знання-орієнтована підтримка рішень реалізується в умовах невизначеності внаслідок неповноти інформації щодо стану об'єкту управління і тому потребує постійного доповнення знань з урахуванням еволюції поведінки об'єкту організаційного управління.

Зазначене свідчить про актуальність розробки методів та технологій побудови баз знань для підтримки управлінських рішень з тим, щоб забезпечити можливість ефективного виявлення проблемної ситуації у діяльності організації. А також побудови набору альтернативних рішень по виходу із цієї ситуації.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є процес побудови баз знань, який передбачає розробку формального представлення знань, вилучення знань, перевірку їх несуперечливості та включення до складу БЗ.

Вилучення або екстерналізація знань полягає у їх перетворенні із неявної в явну форму [1]. До неявних відносять знання експертів та вбудовані знання. Останні містяться у типових процедурах, процесах, документах організаційної системи та можуть бути отримані в результаті аналізу послідовностей її станів.

В подальшому виконується формалізація отриманих явних знань згідно розробленого представлення знань, що забезпечує можливість використання останніх для підтримки прийняття рішень.

Проведений аудит об'єкту дослідження показав можливість побудови БЗ на основі аналізу поведінки організаційної системи, представленої у вигляді послідовності її станів. Залежності між станами відображають знання про управляючі дії, які були реалізовані послідовно в часі при виконанні управлінських рішень.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробка інформаційної технології автоматизованої побудови та поповнення темпоральної БЗ для забезпечення ефективної

підтримки раціонального вибору управлінських рішень ОПР в умовах обмежень предметної області.

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати наступні задачі:

1. Удосконалити модель логіко-ймовірнісного представлення темпоральних знань з урахуванням характеристик запропонованої моделі узагальненої темпоральної залежності та ієрархічного опису контексту управлінського рішення.

2. Удосконалити метод побудови та підтримки темпоральної БЗ з урахуванням атрибутивного опису станів об'єкту управління, а також ієрархічної моделі контексту управлінського рішення.

3. Інтегрувати логіко-ймовірнісне представлення темпоральних знань та метод побудови й підтримки темпоральної БЗ в рамках єдиної інформаційної технології створення темпоральних БЗ.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Управлінське рішення є складовою процесу управління та реалізується в умовах невизначеності [2]. Для підвищення ефективності управлінських рішень на тактичному рівні організаційної ієрархії застосовують системи підтримки прийняття рішень на основі знань [3]. Такі системи використовують вхідні дані із систем обробки транзакцій [4]. При побудові БЗ для систем підтримки рішень використовуються комунікативні методи вилучення знань [5]. Ці методи трансформують неявні знання експертів у явну форму [1]. Використання таких методів, на відміну від вилучення вбудованих знань [6], потребує великих витрат часу експертів та інженерів знань. Це не завжди дозволяє підтримувати БЗ в актуальному стані.

Для подолання недоліків комунікативних методів використовують парадигму автоматизованого управління БЗ [7]. Автоматизоване управління БЗ реалізує задачі поетапного формування, підтримки баз знань [8], а також використання знань в інформаційно-пошукових та інформаційно-довідкових системах [9]. Однак, існуючі моделі та методи автоматизованої побудови БЗ використовують декларативні знання без врахування темпоральних залежностей. Такі залежності є суттєвими для побудови процесу управління з врахуванням послідовності обробки елементарних об'єктів – артефактів [10]. Це не дозволяє побудувати управлінське рішення у вигляді послідовності управляючих дій, пов'язаних темпоральними залежностями [11].

Проведений аналіз підходів до побудови БЗ дає можливість зробити висновок про невідповідність між потребами знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень та можливостями існуючих методів й технологій інтерактивної та автоматизованої побудови БЗ. Зазначене свідчить про перспективність розробки технології автоматизованої побудови темпоральної бази знань.

5. Методи дослідження

Запропонована технологія інтегрує ряд розроблених автором моделей та методів [11–13]. В рамках технології використовується засноване на запропонованих темпоральних правилах представлення знань. Темпоральні

правила задають залежності у часі між станами S_j організаційної системи або її складових. Такі залежності відображають управляючі дії, що привели до переходів між цими станами. Стан організаційної системи поєднує сукупність станів елементарних об'єктів – артефактів, наприклад, документів, деталей, продуктів, які використовуються в процесі її діяльності. Стан кожного артефакту визначається поточними значеннями його атрибутів. Значення цих атрибутів фіксуються та вносяться до бази даних системою обробки транзакцій. В якості одного із атрибутів завжди використовується мітка часу, що і забезпечує можливість встановити темпоральні залежності. Послідовності станів мають вигляд:

$$\Pi_i = \langle S_{i,0}, S_{i,1}, \dots, S_{i,|\Pi_i|-1} \rangle.$$

Кожен стан S_j задається через множину змінних a , які відповідають атрибутам артефактів, а також з використанням мітки часу:

$$S_j = \{a : a \in A_{Type} \vee a \in A_{Work} \vee a \in A_{Artifact} \vee a \in A_{Time}\}, \quad (1)$$

де A_{Type} – ідентифікаційні атрибути; A_{Work} – атрибути дії, що привела до стану S_j об'єкту управління; $A_{Artifact}$ – атрибути, що визначають властивості артефактів у стані S_j ; A_{Time} – атрибути часу виникнення стану S_j .

Темпоральні знання про поведінку об'єкту управління представляються у вигляді фактів виникнення станів та темпоральних залежностей між ними. Факт f_j виникнення стану f_j задається через предикат Q на множині його атрибутів:

$$f_j = Q(A) : A \subseteq S_j, \quad (2)$$

де $A = \{a_j^1, \dots, a_j^k, \dots, a_j^K\}$ – атрибути стану S_j .

Область істинності Y_j такого предикату визначається допустимою множиною значень атрибутів події:

$$Y_j = \{\alpha_j^k : \alpha_j^k \in \Lambda_{Type} \vee \alpha_j^k \in \Lambda_{Work} \vee \alpha_j^k \in \Lambda_{Artifact}\}, \quad (3)$$

де α_j^k – значення k -змінної стану S_j ; $\Lambda_{Type}, \Lambda_{Work}, \Lambda_{Artifact}$ – множини допустимих значень атрибутів типу події, дії та властивостей артефактів.

Темпоральні правила визначають упорядкованість у часі станів S_j . Одні й ті ж залежності між станами у часі можуть виникати для різних послідовностей Π_i , що були реалізовані у різні проміжки часу. Тому темпоральні правила в базі знань задають упорядкованість фактів у часі. Такі правила формуються на основі

шаблонів темпоральних залежностей між цими фактами. Узагальнене представлення темпоральної залежності r має такий вигляд:

$$r \equiv f_j \text{KO} f_m, \quad (4)$$

де K – квантор, що визначає множину послідовностей станів, для яких буде виконана дана залежність; O – темпоральний оператор.

Розроблені темпоральні правила використовують квантори темпоральної логіки E (Exists) та A (All). Перший квантор задає істинність факту f_m на щонайменше одній послідовності станів Π_i , а другий – на всіх відомих послідовностях станів.

Темпоральні оператори визначають тип зв'язку між станами. Пара послідовних станів задається оператором X (NeXt). Пара станів, між якими є інші стани описується оператором F (Future). Пара станів із заданими умовами переходу між ними визначається оператором U (Until).

Розроблена логіко-ймовірнісна модель представлення темпоральних знань використовує апарат марківських логічних мереж для відображення логічного та ймовірнісного аспектів цих знань. Логічний аспект моделі представляється множиною зважених правил r_l за шаблонами (4). Істинність цих правил залежить від значень фактів f_j :

$$\begin{aligned} Kn_l = (H_l, \{(r_l, \omega_l) : r_l \in R_C, r_l = f_j AO f_m \Rightarrow \omega_l = \infty, \\ r_l = f_j EO f_m \Rightarrow 0 \leq \omega_l < \Omega\}), \end{aligned} \quad (5)$$

де ω_l – вага правила r_l ;

R_C – підмножина правил R , що відібрана на основі апріорно заданих обмежень для предметної області;

Ω – максимально можливе значення ваги правила з квантором E для заданого набору послідовностей станів $\Pi = \{\Pi_i\}$;

H_l – ієрархічний опис контексту на основі відношень між артефактами.

При формуванні комплексного управлінського рішення, що містить у собі множину альтернатив в якості вхідних даних, використовуються підмножини артефактів Af^* та послідовностей станів Π^* . Вони задають значення змінних предикату Q у конкретні моменти часу.

Для кожного темпорального правила r_l , яке описує залежності між станами S_j та S_m на підмножині послідовностей $\{\Pi_i\} \in \Pi^*$, задається фактор-функція ϕ_l : $\phi_l = \exp(\omega_l r_l)$. Ця функція відображає вплив ваги правила на ймовірність появи пари станів S_j , S_m у множині Π^* . Ймовірність реалізації довільної послідовності станів Π'_i визначається через здобуток її факторів:

$$P(\Pi'_i) = \frac{1}{Z} \prod_l \phi_l : r_l = f_j \text{KO} f_m, S_j, S_m \in \Pi'_i, \quad (6)$$

де Z – функція розбиття.

Функція Z застосовується для нормалізації та задається через здобуток факторів для всіх послідовностей з множини Π^* :

$$Z = \prod_{i,l} \phi_l : r_l = f_j \text{KO} f_m, S_j, S_m \in \Pi^*. \quad (7)$$

Ймовірність реалізації нової послідовності станів Π'_i як можливого управлінського рішення має такий вигляд:

$$P(\Pi'_i) = \frac{1}{Z} \exp\left(\sum_l w_l(f_j \text{KO} f_m)\right). \quad (8)$$

Вираз (8) визначає ймовірнісну складову представлення темпоральних знань. Залежність $f_j \text{KO} f_m$ має істинне значення лише у випадку наявності відповідних зв'язків між станами S_j та S_m на послідовності Π'_i . Тому при обчисленні ймовірності враховуються лише ваги правил, які описують дану послідовність станів.

Запропоноване логіко-ймовірнісне представлення темпоральних знань поєднує логічний опис (5) та функцію (8) обчислення ймовірності можливих альтернативних рішень Π'_i і має такий вигляд:

$$Kn = \{Kn_L, P(\Pi'_i)\}. \quad (9)$$

В цілому представлення знань (9) дозволяє описати можливі послідовності управлінських дій у складі управлінського рішення, контекстну залежність цих дій з урахуванням ієрархії артефактів, а також визначити ймовірність реалізації вказаних послідовностей.

Побудова темпоральної бази знань з використанням представлення (9) виконується за допомогою удосконаленого методу автоматизованої побудови та підтримки бази темпоральних знань. В якості вхідних даних використовуються послідовності Π_i , існуюча ієрархія контексту H_i та поріг ε відхилення фактичної та розрахункової ймовірності $P(\Pi_i)$. Метод містить у собі такі етапи:

Етап 1. Вибір патернів представлення темпоральних залежностей. Такі залежності можуть бути представлені у вигляді (4) або ж типовими послідовностями обробки артефактів [10].

Етап 2. Побудова або уточнення ієрархічної моделі контексту виконання управляючих дій. Дана модель має вигляд ієрархії класів артефактів згідно

представлених у роботі [12] результатів. Контекстна ієрархія задає базову структуру знань у предметній області.

Етап 3. Відбір підмножини вхідних даних шляхом співставлення множини вхідних артефактів та контекстної ієрархії. Особливість даного етапу полягає у можливості деталізації даних для визначеного рівня ієрархії контексту.

Етап 4. Побудова фактів f_j . На даному етапі в предикат (2) підставляються значення змінних, що характеризують стан S_j .

Етап 5. Побудова темпоральних правил r_l , що виконується методом [11].

Етап 6. Знаходження ваг темпоральних залежностей. На даному етапі використовується метод [13], який базується на методі пошуку ваг в марківській логічній мережі, та враховує особливості темпоральних правил та обмежень.

Етап 7. Розміщення правил в базі знань та перевірка ваг темпоральних залежностей.

Крок 7.1. Обчислення ймовірностей вхідних послідовностей станів Π_i згідно (8) з використанням всіх правил в базі знань, що визначають вказані послідовності.

Крок 7.2. Порівняння отриманих значень ймовірностей $P_{calc}(\Pi_i)$ із ймовірністю $P_{input}(\Pi_i)$ із вхідних даних. У випадку, якщо $|P_{input}(\Pi_i) - P_{calc}(\Pi_i)| > \varepsilon$, етапи 6 та 7 виконуються повторно для нових та існуючих правил щодо Π_i .

Етап 8. Доповнення ієрархічного опису контексту виконання управляючих дій у БЗ. На даному етапі ієрархічне представлення контексту в БЗ доповнюється атрибутами та їх властивостями, що відповідають змінним станів у вхідних даних.

6. Результати дослідження

Запропонована технологія призначена для побудови темпоральних залежностей, що визначають можливі послідовності управляючих дій (або відповідних послідовностей станів об'єкту управління) у складі управлінського рішення.

В якості вхідних даних використовуються результати роботи систем обробки транзакцій, які можуть зберігати стани організації за результатами моніторингу. Приклад опису стану одного із процесів на підприємстві, що містить властивості робочої групи, продукту, виконавців та мітку часу а також дії, що привела до виникнення поточного стану, наведено на рис. 1.

```
«org:group» value=«L40 3rd»  
«organization country» value=«fr»  
«org:resource» value=«Sophie»  
«org:role» value=«D_1»  
«concept:name» value=«Completed»  
«product» value=«PROD609»  
«lifecycle:transition» value=«Resolved»  
«time:timestamp» value=«2012-05-14T11:04:40+02:00»
```

Рис. 1. Приклад опису стану S_j у вхідних даних

Технологія містить такі етапи:

Етап 1. Побудова або вибір темпоральних залежностей для представлення знань. На даному етапі виконується вибір підмножини темпоральних правил з використанням комбінації кванторів та темпоральних операторів.

Етап 2. Побудова ієрархії опису контексту виконання управляючих дій. В залежності від предметної області опис може відображати ієрархію задач, організаційну ієрархію, або визначати ступінь деталізації процесів, що виконуються в організації. На даному етапі встановлюються зв'язки між класами артефактів, які задають ієрархічні зв'язки в предметній області.

У прикладі на рис. 1 представлені деякі рівні організаційної ієрархії: країна «fr»; робоча група «L40 3rd»; позиція (або роль) виконавця – «D_1».

Етап 3. Вибір підмножини вхідних даних згідно контекстної ієрархії.

На даному етапі виконується відбір вхідних даних згідно визначеного рівня ієрархії. Наприклад, даних для групи співробітників з шифром «L40 3rd».

Етап 4. Вибір підмножини вхідних даних за темпоральною ознакою.

Важливість даного етапу пов'язана із тим, що послідовність вирішення задач може змінюватись по мірі еволюції вимог та цілей організації. Відбір даних для заданого темпорального інтервалу виконується за міткою часу.

Етап 5. Побудова темпоральних правил на основі вибраних та етапі 1 темпоральних залежностей.

Крок 5.1. Визначення фактів f_j для станів із всіх Π_i .

Наприклад, для представленого на рис. 1 прикладу опису стану S_j факт f_j для правила X -типу містить кон'юнкцію значень змінних, за виключенням часової мітки.

Крок 5.2. Побудова темпоральних правил. На даному кроці формуються темпоральні правила для пар станів S_j та S_m з використанням методу [12].

Етап 6. Визначення ваг отриманих темпоральних правил методом [13] з урахуванням ймовірності появи вхідних послідовностей станів.

Етап 7. Уточнення контекстної ієрархії в базі знань на основі SQL-запитів, що порівнюють існуючу та отриману із вхідних даних ієрархії.

Етап 8. Доповнення бази знань новими правилами. Даний етап реалізується за допомогою SQL-запитів в реляційній базі даних – середовищі зберігання бази знань.

Крок 8.1. Перед модифікацією БЗ для кожного правила перевіряється наявність такого ж правила, але з іншою вагою.

Крок 8.2. У випадку, якщо одне із правил (нове або існуюче) є обмеженням, то до БЗ заноситься обмеження.

Крок 8.3. У випадку невідповідності ваг правил виконується етап 8 без перевірки різниці між ймовірностями послідовностей станів.

Етап 9. Уточнення ваг темпоральних правил згідно етапу 7 методу побудови та підтримки темпоральної БЗ.

Етап 10. Перевірка експертом семантики отриманих темпоральних правил. Перевіряється відповідність нових правил існуючим та опису контексту виконання управляючих дій. За результатами перевірки правила можуть бути вилучені з БЗ.

Розглянемо ілюстративний приклад реалізації технології.

Дано такі вхідні послідовності станів та інтервали часу їх виконання:

$$\Pi_1 = \langle s_{1,1}, s_{1,2}, s_{1,4}, s_{1,5} \rangle, 01.09.18-15.09.18,$$

$$\Pi_2 = \langle s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, s_{2,4}, s_{2,5} \rangle, 15.09.18-31.10.18,$$

$$\Pi_3 = \langle s_{3,1}, s_{3,2}, s_{3,6}, s_{3,5} \rangle, 01.10.18-15.12.18.$$

Ієрархічний опис контексту представлений розподілом станів по двом підрозділам організації, відповідно:

$$\{s_{1,1}, s_{1,2}, s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, s_{3,1}, s_{3,2}\} \text{ та } \{s_{1,3}, s_{1,4}, s_{1,5}, s_{2,4}, s_{2,5}, s_{3,6}, s_{3,5}\}.$$

Необхідно побудувати базу знань з темпоральними правилами типів X та F для задач, що вирішувались 1.08.17–31.09.18 у другому підрозділі.

Для правил заданих типів розглядається стан об'єкту управління в цілому, без вилучення окремих атрибутів. Тому уточнені послідовності вхідних даних мають вигляд:

$$\Pi_1 = \langle s_{1,3}, s_{1,4}, s_{1,5} \rangle, \Pi_2 = \langle s_{2,4}, s_{2,5} \rangle, \Pi_3 = \langle s_{3,6}, s_{3,5} \rangle.$$

З урахуванням темпоральних обмежень отримуємо:

$$\Pi_1 = \langle s_{1,3}, s_{1,4}, s_{1,5} \rangle, \Pi_2 = \langle s_{2,4}, s_{2,5} \rangle.$$

Для них формуються такі правила:

$$(f_4 AX f_5), (f_3 EF f_5), (f_3 EX f_4).$$

Перше правило виконується на обох послідовностях і тому є обмеженням. Згідно [10] його вага становить ∞ . Вага інших двох правил є однаковою з урахуванням $P(\Pi_1) = P(\Pi_2) = 0,5$, розраховується методом [13] і становить 4,1. Згідно вхідних даних отримані правила належать до рівня ієрархії другого підрозділу. На етапі уточнення ваг правило $(f_4 AX f_5)$ замінить правило виду $(f_4 EX f_5)$ у випадку його наявності в базі знань. У представленому прикладі три правила повністю визначають послідовності Π_1 та Π_2 , оскільки вони описують всі залежності між трьома станами. Тому уточнення ваг буде потрібне лише у випадку, коли в базі знань вже існують правила $(f_3 EF f_5)$, або $(f_3 EX f_4)$ з іншими вагами.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Ключова перевага запропонованої технології полягає в можливості отримання темпоральних правил без використання комунікативних методів інженерії знань. Це дозволяє поповнювати базу знань оперативно, по

мірі появи інформації про черговий стан об'єкту управління. Також, ймовірніше представлення темпоральних знань дає можливість сформувати набір ймовірних послідовностей станів об'єкту управління від поточного до цільового стану і, тим самим, дати можливість ОПР вибрати раціональне управлінське рішення.

Weaknesses. Слабкі сторони даної технології пов'язані з використанням припущення про повноту та відсутність протиріч у вхідних даних. Технологію доцільно використовувати лише у випадку наявності таких атрибутів кожного стану у вхідних даних, що дозволяють однозначно визначити його рівень у ієрархії контексту, а також відсутності помилок при записі міток часу цих станів.

Opportunities. Додаткові можливості запропонованої технології пов'язані з урахуванням не тільки темпорального аспекту, але й об'єктних та просторових характеристик вхідних даних. Це дозволить розширити сферу застосування отриманих результатів на геоінформаційні системи.

Threats. Відсутність або неточність вхідних даних у випадку збоїв при їх формуванні системами обробки транзакцій впливає на коректність отриманих темпоральних залежностей. Так, несвоєчасна фіксація операцій затримок операцій запису в базу даних може привести до формування помилкових темпоральних правил. Також по мірі еволюції систем обробки транзакцій можливі зміни назв атрибутів та артефактів, що може привести до помилок у записах фактів виникнення станів об'єкту управління.

8. Висновки

1. Удосконалено логіко-ймовірнісну модель представлення темпоральних знань шляхом врахування ієрархічного опису контексту управлінського рішення. Ієрархічний опис контексту дає можливість виділити підмножину елементарних об'єктів, які необхідні для управління, і тим самим спростити побудову рішення. Запропонована модель забезпечує можливість підтримки раціонального вибору із множини альтернативних управлінських рішень за показником ймовірності переходу до цільового стану об'єкту управління.

2. Удосконалено метод автоматизованої побудови та підтримки темпоральної бази знань шляхом урахування атрибутивного опису станів об'єкту управління, а також ієрархічної моделі контексту управлінського рішення. Метод передбачає побудову патернів темпоральних залежностей, формування та перевірку логіко-ймовірносного представлення знань у вигляді зважених темпоральних правил, а також формування опису контексту управлінських рішень. Метод забезпечує оперативну побудову бази темпоральних знань на основі використання вбудованих неявних знань в задачах підтримки управлінських рішень.

3. Виконано інтеграцію моделі представлення темпоральних знань, а також методів побудови баз знань, виявлення знань, знаходження ваг темпоральних правил в рамках єдиної інформаційної технології автоматизованого створення темпоральних баз знань. Інформаційна технологія поєднує можливості формування патернів представлення та семантичної перевірки знань, що виконуються спеціалістом у предметній області. А також переваги автоматичної побудови зважених темпоральних правил на основі виявлення залежностей у

послідовностях станів об'єкту управління. Це дає можливість оперативно виявляти характерні для предметної області нові темпоральні залежності та вносити їх в базу знань після семантичної перевірки експертом.

Література

1. Nonaka I., von Krogh G. Perspective–Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement in Organizational Knowledge Creation Theory // *Organization Science*. 2009. Vol. 20, Issue 3. P. 635–652. doi: <http://doi.org/10.1287/orsc.1080.0412>
2. Trewatha R. L., Newport G. M. *Management: Functions and Behavior*. Business Publications, 1996. 569 p.
3. Oduoza C. K. Decision support system based on effective knowledge management framework to process customer order enquiry / ed. by Chiang S. J. // *Decision Support Systems*, INTECH, 2010. P. 406.
4. Laudon K. C., Laudon J. P. *Essentials of Management Information Systems*. Prentice-Hall, Inc., 2007. 586 p.
5. Dalkir K. *Knowledge Management in Theory and Practice*. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 372 p.
6. Implementation of search mechanism for implicit dependences in process mining / Kalynychenko O. et. al. // 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS). Berlin, 2013. doi: <http://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662657>
7. Niu F., Zhang C., Re C. DeepDive: Web-scale knowledge-base construction using statistical learning and inference. *VLDS*, 2012. P. 25–28.
8. Incremental knowledge base construction using DeepDive / Shin J. et. al. // *Proceedings of the VLDB Endowment*. 2015. Vol. 8, Issue 11. P. 1310–1321. doi: <http://doi.org/10.14778/2809974.2809991>
9. Building, Maintaining, and Using Knowledge Bases: A Report from the Trenches / Deshpande O. et. al. // *Proceedings of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*. New York, 2013. P. 1209–1220. doi: <http://doi.org/10.1145/2463676.2465297>
10. Cohn D., Hull R. Business artifacts: A data-centric approach to modeling business operations and processes // *Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering*. 2009. Vol. 32, Issue 3. P. 1–7.
11. Chala O. Method of constructing context-oriented rules in the temporal knowledge base // *Control, Navigation and Communication Systems*. Academic Journal. 2018. Vol. 5, Issue 51. P. 115–120. doi: <http://doi.org/10.26906/sunz.2018.5.115>
12. Levykin V., Chala O. Hierarchical model of context of knowledge-intensive business process // *Visnyk NTU «KhPI»*. 2016. Issue 37 (1209). P. 43–47.
13. 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. doi: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>