

І. І. Завушак, Є. В. Буrow  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних систем та мереж

## ВИКОРИСТАННЯ КОНТЕКСТНИХ ГРАФІВ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СФЕРІ ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯ

© Завушак І. І., Буrow Є. В., 2018

Врахування поточного контексту є важливою вимогою для систем, що ґрунтуються на знаннях. У статті розглянуто застосування контекстно-залежної підтримки прийняття рішень у сфері працевлаштування. Дослідження засноване на аналізі бізнес-процесів у сфері зайнятості, в результаті яких побудовано онтологію. Далі порівнюються моделі подання контексту та обираються моделі на основі онтології та графів для опрацювання контекстних знань. Удосконалено JDL модель із вказанням операцій опрацювання контексту. Для представлення контекстних знань області працевлаштування використано контекстні графи. Запропоновано операцію поглиблення контексту як частину процесу прийняття рішення. Запропоновано модифікований метод аналітичної ієрархії для обґрунтування рішень щодо вибору практик.

**Ключові слова:** онтологія, знання, контекст, контекстний граф, аналітична ієрархія.

**Taking in consideration the current context is an important requirement for knowledge based systems. The article discusses the application of context-sensitive decision support in the area of employment solutions providing. The research is based on employment area business process analysis which resulted in ontology construction. Next, the models for context representation are compared and models based on ontology and graphs are chosen for processing of contextual knowledge. Enhanced JDL model with specified context processing operations is introduced. Contextual graphs are used for representation of contextual knowledge and the operation of deepening of context is discussed. Finally, the modified analytical hierarchy method is proposed for justification of decisions about selection of practices.**

**Key words:** ontology, knowledge, context, contextual graph, analytical hierarchy.

### **Вступ. Загальна постановка проблеми**

Одна з визначальних тенденцій у розвитку інформаційних систем підприємств сьогодні це зростання вимог до якості управлінських рішень. Це завдання вирішується шляхом інтелектуалізації інформаційних систем [1], що знайшло своє вираження у переході до концепції когнітивного підприємства. Однією з головних вимог [2,3] до такого підприємства є врахування контекстної інформації у процесах прийняття рішень, тобто розуміння та визначення таких контекстних елементів як синтаксис та семантика інформації, час, розміщення, особливостей проблемної області, профілю користувача, інформації про бізнес-процес, поточне завдання та цілі.

Поняття контексту використовують та досліджують у багатьох галузях науки. Перші спроби зрозуміти та використати це поняття були зроблені у лінгвістиці для вирішення задач автоматизованого перекладу. Пізніше, з появою інтелектуальних систем, що базуються на знаннях, стало зрозуміло, що всі знання є контекстно-залежними, тобто релевантними тільки у межах певних, часто неявно заданих умов. Відсутність врахування контекстної залежності знань було причиною невдач у багатьох проєктах інтелектуальних систем [4].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Формальні моделі контексту використовують різноманітні символні або графічні подання контекстної інформації та базуються на обраному математичному формалізмі. Найвідомішими

формальними моделями контексту є [5, 6] моделі “ключ – значення”, мови розмітки, графічні моделі (графові), об’єктно-орієнтовані моделі, логічні моделі, моделі на базі правил, моделі на базі онтологій.

Порівняння формальних моделей контексту наведено у багатьох роботах [5–8], присвячених моделюванню контексту. Так, у роботі [5] наведено порівняння моделей контексту для систем інтернету. Автор визначив такі вимоги до моделей контексту, що впливають з обраної предметної області: підтримка розподіленого збереження та опрацювання даних; часткова валідація даних, відкидання некоректних варіантів; робота зі великими масивами реальних даних, підтримка різноваріантних рішень; опрацювання неповних та нечітких даних; опрацювання інформації на різних рівнях абстрагування; можливість використання наявних технологічних вирішень. На основі визначених вимог автор [5] порівнює формальні моделі контексту, визначає їхні переваги та недоліки для застосування в галузі інтернету речей. У [7] згаданій вище моделі контексту порівнюються в розрізі можливості використання логічного виведення в процесі опрацювання контекстної інформації. Автор визначив критерії для порівняння, які частково перекриваються з критеріями у [5]: підтримка гетерогенності систем та мобільності, відображення та врахування залежностей та відношень, врахування часу, історії попередніх змін; підтримка нечіткості та неповноти інформації; підтримка міркувань; перевірка цілісності даних; підтримка різних рівнів опрацювання контексту.

Робота [6] присвячена моделюванню контексту для систем підтримки прийняття рішень. У ній описані та порівняні моделі контексту для вирішення задач менеджменту контекстних моделей. Стаття [8] розглядає моделі контексту, які засновані на використанні онтологій для галузі інтернету речей.

Водночас, наявні порівняння моделей контексту враховують тільки особливостей предметної області. На нашу думку кориснішим є порівняння за більшою кількістю параметрів, яке бере до уваги математичний апарат, загальність/конкретність моделей, варіанти використання контексту – як узагальнені групи задач.

Результати порівняння моделей контексту відображені у таблиці.

### Порівняння моделей контексту

| Модель контексту     | Використовує математичний апарат | Тип контексту, задачі, які вирішують з використанням моделі                     | Придатність для галузі працевлаштування  |
|----------------------|----------------------------------|---|--|
| Ключ – значення      | Кортеж значень                   | Ключ дає змогу інтерпретувати конкретне значення                                | Непридатний через недостатні можливості щодо подання контекстних даних   |
| Мови розмітки        | Формальні мови                   | Використовуються для структурованого та напівструктурованого подання інформації | Не використовують контекстні знання. Необхідність розробки спеціальних валідаторів мови.                             |
| Графові моделі       | Теорії графів                    | Історичний контекст, контекст процесів  | Придатні для подання процесів. Відсутня перевірка цілісності даних   |
| Об’єктно-орієнтовані | Об’єктно-орієнтоване моделювання | Використовують для виявлення контекстних залежностей у предметній області       | Відсутні можливості систематизації та опрацювання знань.   |
| Логічні              | Математична логіка               | Визначають логічні твердження, справедливі тільки у певному контексті           | Не дають можливості систематизувати та організувати контекстну інформацію. Обмеженість міркувань логічним виведенням |
| На базі правил       | Асоціативні правила              | Подають правила, релевантні у визначеному контексті                             | Не дають можливості систематизувати та організувати контекстну інформацію.   |
| На базі онтологій    | Онтології                        | Задають цілісну формальну модель предметної області                             | Можуть бути використані для подання предметної області та формування моделей контексту                               |

При виборі типу моделі контексту для побудови інформаційної системи у галузі працевлаштування не доцільно обмежитися використанням тільки одного типу, адже різні моделі контексту помічні для вирішення різних задач галузі працевлаштування. Водночас, особливе місце серед моделей контексту займають моделі на базі онтологій, які ми покладемо в основу інших типів моделей. Головні переваги у використанні онтологічного підходу такі:

- онтології дають змогу формально визначити концепти предметної області та залежності між ними. Ці знання відображають особливості предметної області і можуть бути повторно використані.
- на базі концептів, відношень та аксіом онтології можна будувати моделі для відображення різних типів контексту (історичного, особи, розміщення та ін.)
- для онтологічного подання знань розроблені засоби для логічного виведення та відслідковування логічної цілісності (відсутності логічних протиріч).
- на базі спільної онтології можна будувати моделі, що підтримують різні форми міркувань.

### Виклад основного матеріалу

Для підтримки прийняття рішень у бізнес-процесах працевлаштування та з метою повторного використання знань необхідно розглянути задачу контекстно-залежного комп'ютингу для галузі цієї проблемної області в ширших рамках.

За основу візьмемо JDL модель синтезу інформації [10], яку використовують в автономних системах підтримки прийняття рішень (рис.1) На нульовому рівні цієї моделі дані зчитуються з сенсорів. На першому рівні ці дані інтерпретуються як параметри певних об'єктів. Інформація про це записується у базу фактів. Отже, інформація у базі фактів відображає реальний стан середовища, а також містить відомості про попередні стани, правила та обмеження предметної області та ін. Рішення в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішення відбувається на основі аналізу фактів у базі знань. Усі елементи з бази фактів належать одному з типів, визначених у загальній онтології системи. Онтологія визначає типи фактів, можливі відношення між ними, правила та обмеження дійсні для цих фактів.

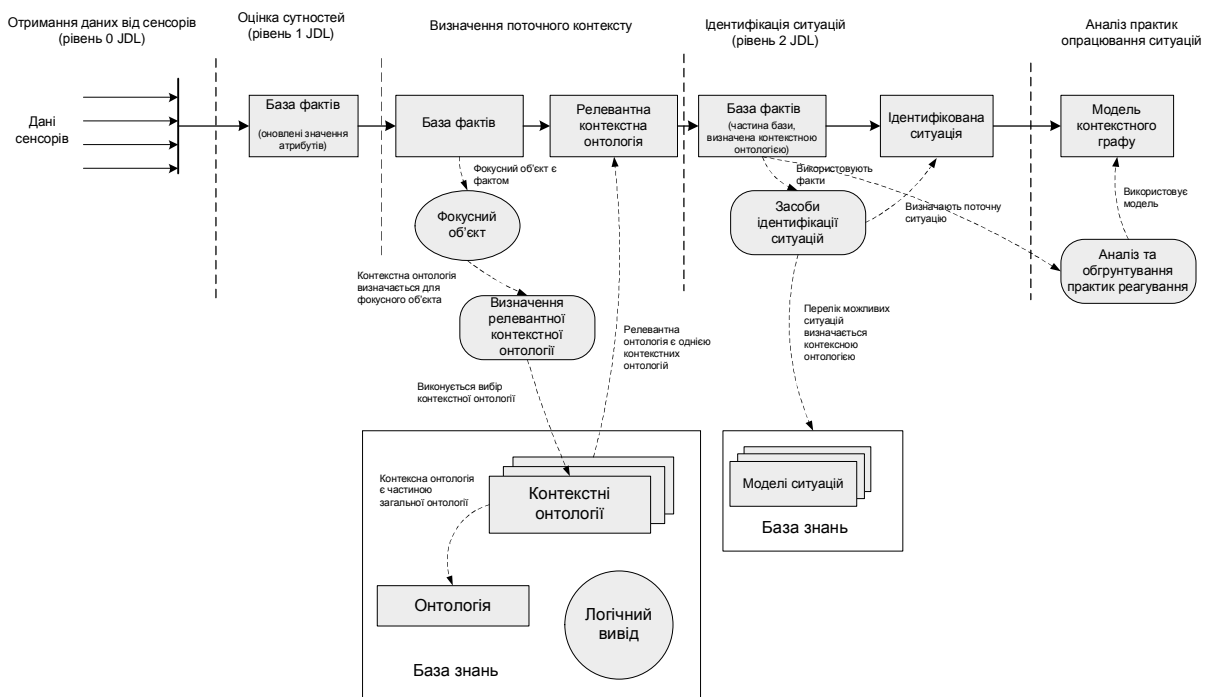


Рис. 1. Модель інтелектуальної системи опрацювання контексту

Центральним елементом контексту в задачах контекстного комп'ютерингу виступає фокусний об'єкт  $t_{f0}$ , який подано екземпляром певного класу  $T_{f0}$  онтології  $On$  у базі фактів:

$$t_{f0} \in Population(T_{f0}) \quad (1)$$

$$T_{f0} \in On \quad (2)$$

В інтелектуальних системах контекст часто використовують як фільтр, для обмеження кількості можливих параметрів, які треба відстежувати для фокусного об'єкта. Для подання контекстних знань, релевантних у конкретній ситуації, запропоновано використовувати контекстні онтології [11]  $Con \subseteq On$ , які є частинами загальної онтології  $On$ . Визначення контекстних онтологій зберігаються у базі знань в окремому репозиторії. На практиці для спрощення відстежування динаміки зміни контекстів для фокусного об'єкта визначають декілька частин його загального контексту, які розглядають як окремі контексти. Такими контекстами часто є контексти особи, оточення, завдання, яке виконується.

$$Con = Con_{pers} \cup Con_{loc} \cup Con_{task} \quad (3)$$

Зміна цих контекстів постійно відслідковується і для кожного відрізка часу визначається конкретна актуальна контекстна онтологія  $Con_i$ , що містить усі типові об'єкти, відношення, правила. Таким чином, вирішується задача ідентифікації контекстної онтології, на основі поточних значень параметрів загального контексту з бази фактів  $Bf$ .

$$Fidon : Bf(Con) \rightarrow Con_i \quad (4)$$

Наприклад, якщо клієнт подав заявку на працевлаштування, то контекстна онтологія охоплює об'єкти клієнта, заявки, бази вакансій. На практиці контекстна онтологія визначається на основі аналізу ідентифікованих елементів контексту оточення, поточного завдання, а також контексту особи.

Визначення контекстної онтології спрощує процес ідентифікації проблемних ситуацій на другому етапі моделі JDL, адже кількість ситуацій для аналізу зменшується – треба аналізувати тільки ситуації, моделі яких  $MdSit$  сформульовані з використанням елементів з контекстної онтології.

$$\forall T_k \in Con_i : T_k \in MdSit_j \quad (5)$$

Модель контекстних графів була розроблена для аналізу варіантів опрацювання нештатних ситуацій операторами метрополітену [12]. Автори цієї моделі зазначають, що якщо перелік можливих нештатних операцій є добре відомий та формалізований у документах компанії, то конкретні способи вирішення нештатної ситуації залежать від умов її виникнення (контексту) і визначаються людиною-оператором індивідуально, на основі свого досвіду. Такий спосіб вирішення завдання в [12] названо практикою. Завданням моделі контекстних графів є явне визначення контекстних даних, які впливають на вибір тієї чи іншої практики та подання послідовності можливих практик для визначеної ситуації у вигляді графу, зазначивши, яка інформація використовується з контексту для кожної практики.

Контекстний граф – це ациклічний граф (рис 2) з однією вершиною-входом та однією вершиною-виходом. Вхідною вершиною виступає ідентифікована ситуація, яку потрібно опрацювати. Контекстний граф має два типи вершин: контекстні елементи та дії. Контекстні елементи відображають контекстні знання – тобто знання релевантні для даної ситуації. Точніше, в контекстному елементі відображені релевантні дані, інформація та знання. Для позначення знань, які лежать за межами контекстних, використовують термін “загальний контекст”. Дуги графу, що виходять з вершин – контекстних елементів, мають позначки, які специфікують яку частину контекстних знань використовує та чи інша практика. Крім контекстних вершин галуження, які відображають різні варіанти вирішення задачі, існують контекстні вершини з'єднання, в яких змінні частини процесу вирішення задачі знов зливаються в один шлях.

За більш ніж двадцять років розвитку апарату контекстних графів [13] вони були успішно використані у медицині, військовій сфері, транспорті, інформаційній безпеці тощо. Водночас, модель контекстних графів має такі недоліки та можливості для вдосконалення:

а) невизначена структура контекстних знань, що унеможливує верифікацію цієї моделі, встановлення додаткових формальних обмежень; обмежує можливості для побудови на основі

контекстних графів інтелектуальних систем із повторним використанням знань для різних проблемних областей.

б) в моделі підтримується тільки міркування на основі правил, не підтримуються інші форми міркувань.

в) підтримуються тільки якісні, логічні умови вибору шляхів реалізації різних практик, не підтримується вибір на основі кількісних оцінок.

Розглянемо аналіз контексту бізнес-операції працевлаштування з використанням контекстного графу (рис. 2). Для кожної бізнес-операції визначається її контекстна онтологія, що відображає відображає контекстні знання. Така онтологія визначає релевантні для ситуації сутності, відношення та правила. На наступному кроці сутності та відношення заповнюються відповідними фактами. Значення атрибутів цих фактів використовуються для визначення конкретної практики виконання операції.

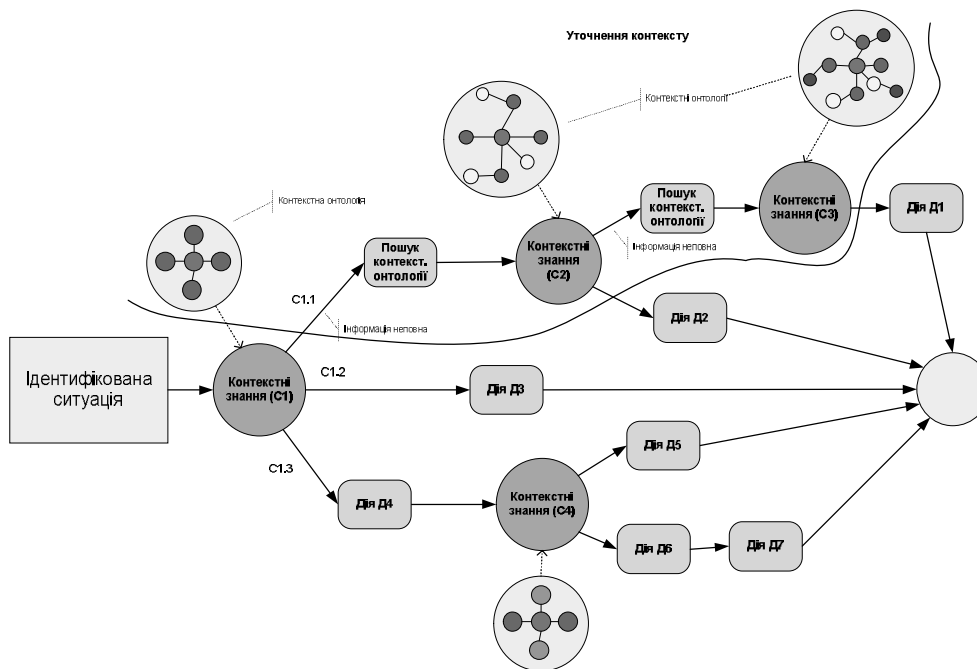


Рис. 2. Контекстний граф з процесом уточнення контексту

Для вибору конкретної практики виконання необхідно визначити функцію відображення ініціалізованої контекстної онтології  $Con_i^g$  у відповідну практику  $Pract_j$ :

$$Fidpract : Con_i^g \rightarrow Pract_j \quad (6)$$

Практика описується послідовністю дій. Для кожної дії визначено конкретні дані (інформацію, знання), які використовуються для виконання дії. Для специфікації способу отримання цих даних з контекстної онтології доцільно використати контекстні ланцюжки [14].

Крім вибору практики виконання, важливою складовою частиною процесу опрацювання бізнес-операції є уточнення контексту. Уточнення контексту відбувається тоді, коли для визначеного набору параметрів ініціалізованої контекстної онтології інформації для вибору конкретної практики недостатньо. Це призводить до необхідності включення у контексту онтологію нових елементів, знаходження значень для параметрів нових фактів, та врахування цих нових значень для вибору практики. Операція уточнення контексту може відбуватися декілька разів, як це показано на рис.2.

Отже, модель контекстних графів може бути використана на завершальному етапі процесу опрацювання контексту у модифікованій JDL моделі. Вона відображає використання контекстних знань для вибору практик виконання, визначення їх параметрів, а також релевантних даних та знань.

### Використання методу аналітичної ієрархії для вибору практик у біжучому контексті

Задачі вибору потрібної практики з врахуванням значень параметрів ініціалізованої контекстної моделі є складно формалізованою та багатокритеріальною [12]. Для її виконання необхідно враховувати досвід експертів, які розуміють нюанси кожної конкретної ситуації, можуть спрогнозувати наслідки тих чи інших дій, оцінити ризики та прийняти компромісні рішення. Таким чином, розробка методів підтримки прийняття рішень з врахуванням контексту ситуації вимагає безпосередньої співпраці з експертами для формалізації їх знань.

Враховуючи неформальний та багатокритеріальний характер задачі вибору практики для її вирішення доцільно обрати метод аналітичної ієрархії та модифікувати його для використання з онтологічними моделями контексту та змінними функціями ваг критеріїв вибору.

Вхідними даними для вирішення задачі вибору практики виступає контекстна модель  $MdCon_i$ , яка складається з контекстної онтології  $Con_i$ , набору практик  $SPract_i$ , та критеріїв їхнього вибору  $SCrit_i$ .

$$MdCon_i = (Con_i, SPract_i, SCrit_i) \quad (7)$$

У результаті вирішення задачі необхідно знайти функцію яка відображає значення ініціалізованої онтології  $Con'_i$  у певну практику  $Pract_{ij} \in SPract_i$ :

$$Fidpract : Con'_i \rightarrow Pract_{ij} \quad (8)$$

Нехай модель  $MdCon_i$  має  $n$  елементів (класів та відношень):  $c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{in}$ . Кожен елемент  $c_{ik}$  має  $m$  атрибутів:  $a_{ik1}, a_{ik2}, \dots, a_{ikm}$ , а кожен атрибут  $a_{ikl}$  має область визначення  $Range(a_{ikl})$ . Тоді простір можливих рішень  $DecSp$  буде простором розмірності  $n \cdot m$ , і кожен вимір цього простору буде задаватися областю визначення атрибуту елементу певного класу моделі  $MdCon_i$ . Ініціалізованій онтології  $Con'_i$  відповідає точка у просторі рішень  $DecSp$ .

Задача побудови функції  $Fidpract$  зводиться до розбиття простору на частини  $Sp_j$ , які у сукупності перекривають увесь простір, і для кожної частини визначена рівно одна практика, яка має бути застосована, якщо  $Con'_i$  знаходиться у цій частині.

$$DecSp = \bigcup_j Sp_j \quad (9)$$

$$\forall Sp_j \exists! Pract_k : Fidpract(Con'_i \in Sp_j) = Pract_k \quad (10)$$

Якщо умова (10) не виконується, тобто вибір практики є неоднозначний, необхідно доповнити контексту модель іншими елементами і перейти до розширеної контекстної моделі  $MdCon_i^1$ . Такий перехід вимагає ініціалізації нової моделі додатковими даними, що вимагає додаткових коштів і, по суті, є ще однією з практик, яку вибирає експерт. Тому розглядатимемо операцію уточнення контексту як різновид практики.

У класичному розумінні модель методу аналітичної ієрархії включає загальну мету, критерії вибору та альтернативи. У випадку вирішення задачі вибору практики, взаємна вага критеріїв та вага критеріїв та альтернатив різні для різних частин  $Sp_j$ , що зумовлює вибір різних практик для різних частин. Тому розіб'ємо загальний простір рішень на частини, в яких значення коефіцієнтів попарних порівнянь для критеріїв, і для альтернатив є константами, і для кожної такої області вирішимо задачу вибору практики з використанням методу аналітичної ієрархії.

Метод вирішення цієї задачі складається з таких кроків.

1. Для кожної пари критеріїв  $(Crit_i, Crit_j)$  у контексті загальної мети коректного та ефективного вибору практики експерт визначає розбиття  $Sp(Crit_i, Crit_j)$  простору рішень  $DecSp$  на підобласті, що не перетинаються, тож у кожній підобласті взаємна важливість критеріїв  $w_{ij}^{cr}$  є константою.

Кожне розбиття визначається умовою  $\sigma(Con_i)$ , заданою на елементах контекстної онтології  $Con_i$ .

2. Накладемо отримані таким чином розбиття одне на одне, щоб отримати розбиття  $DecSp$  на підобласті  $Sp(SCrit)$  тож для кожної підобласті визначено свою, унікальну матрицю попарних порівнянь критеріїв  $|w_{ij}^{cr}|$ .

3. Для кожного критерію  $Crit_k$  та пари альтернативних практик  $(Pract_i, Pract_j)$  визначимо розбиття області рішень  $DecSp$  на підобласті, що не перетинаються, так що у кожній підобласті коефіцієнт взаємної важливості альтернатив  $w_{ij}^{pr}$  є константою.

4. Аналогічно до п. 2 накладемо отримані у п. 3 розбиття, щоб отримати нове розбиття  $Sp(SPract)$  області рішень  $DecSp$  на частини, в яких для кожної визначено унікальну матрицю коефіцієнтів порівнянь альтернатив  $|w_{ij}^{pr}|$ .

5. Накладаємо розбиття  $Sp(SCrit)$  та  $Sp(SPract)$  так, щоб отримати нове розбиття  $Sp(SCrit, SPract)$  простору рішень  $DecSp$  з унікальними парами матриць  $|w_{ij}^{cr}|$  та  $|w_{ij}^{pr}|$ .

6. Для кожної частини з розбиття  $Sp(SCrit, SPract)$  з використанням методу аналітичної ієрархії визначаємо практику, яку необхідно застосувати, якщо ініціалізована контекстна модель  $Con'_i$  знаходиться у цій області.

### Висновки

Інформаційні системи області працевлаштування, які існують сьогодні, зазвичай використовуються для реєстрації та зберігання даних про запити клієнтів та наявних вакансій, тоді як усі рішення приймають консультанти в центрах зайнятості на основі їх досвіду. Впровадження аналізу контекстів бізнес-операцій дасть змогу формалізувати експертні знання для типових ситуацій та автоматично виявляти такі ситуації, проводити детальний аналіз контексту клієнта, роботодавця та пропозицій на роботу, щоб уникнути помилок та підвищити якість обслуговування. Використання апарату контекстних графів для подання бізнес-процесів області працевлаштування та моделей контексту дає змогу формалізувати знання експертів та використати їх для підтримки процесу прийняття рішень.

1. Quinn J. B. *The intelligent enterprise a new paradigm. The Executive*, 6(4). – 1992. – pp. 48–63. 2. Bob Lewis and Scott Lee. *The Cognitive Enterprise. Meghan-Kiffer Press, Tampa, FL, USA., 2015, 212P.* 3. *Smart Machines: IBM's Watson and the Era of Cognitive Computing. Columbia Business School Publishing by John E. Kelly III, Steve Hamm* <https://cup.columbia.edu/book/978-0-231-16856-4/smart-machines>. 4. Mary Bazire and Patrick Brézillon. *Understanding Context Before Using It. A. Dey et al. (Eds.): CONTEXT 2005, LNAI 3554, pp. 29 – 40, 2005. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.* 5. Strang T, Linnhoff-Popien C. *A context modeling survey. In Workshop on advanced context modelling, reasoning and management, UbiComp 2004 Sep 7 Vol. 4, pp. 34–4.* 6. Смирнов а.в., Левашиова т.в., Пашкин м.п. *модели контекстно-управляемых систем поддержки принятия решений в динамических структурированных областях, 2009.* 7. Bettini, Claudio / *A survey of context modelling and reasoning techniques./ Pervasive and Mobile Computing* 6.2 (2010): 161–180. 8. Ye, Juan, Lorcan Coyle, Simon Dobson, and Paddy Nixon. "Ontology-based models in pervasive computing systems." *The Knowledge Engineering Review* 22, no. 4 (2007): 315-347. 9. Iryna Zavuschak. *The Context of Operations as the Basis for the Construction of Ontologies of Employment Processes // Iryna Zavuschak, Yevhen Burov. / I. J. Modern Education and Computer Science, 2017, 11, 13–24 Published Online November 2017 in MECS (http://www.mecspress.org/) DOI: 10.5815/ijmecs.2017.11.02.* 10. Steinberg A. N. and Bowman C. L. *Revisions to the JDL data fusion model. // Handbook of multisensor data fusion. – CRC Press, 2008.- pp. 65-88.* 11. Cabrera O, Franch X, Marco J. *A context ontology for service provisioning and consumption. In Research Challenges in Information Science (RCIS), 2014 IEEE Eighth International Conference on 2014 May 28 (pp. 1–12).* 12. Brézillon, Patrick. *Task-realization models in contextual graphs. Modeling and Using Context(2005) pp. 1–8.* 13. Brézillon, Patrick. *Elaboration of the Contextual Graphs representation: From a conceptual framework to an operational software. 2017.* 14. Буров Є. *Опрацювання контексту у когнітивній інформаційній системі керованій моделями Східно-Європейський журнал передових технологій № 1/7(43). – Харків: Технологічний центр. – 2010. – С. 40–47.*