

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Львівська політехніка»

На правах рукопису

**ВОВНЯНКА РОМАН ВОЛОДИМИРОВИЧ**



УДК 004.832.2 : 004.853

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПЛАНУВАННЯ  
ДІЙ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ НА  
ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ**

Спеціальність 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення  
обчислювальних машин і систем

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України, м. Львів.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Литвин Василь Володимирович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри інформаційних систем та мереж

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Виклюк Ярослав Ігорович**,  
Буковинський університет, м. Чернівці,  
проректор з наукової роботи та міжнародних відносин;

кандидат технічних наук, доцент  
**Мельничин Андрій Володимирович**,  
Львівський національний університет імені Івана  
Франка, м. Львів, доцент кафедри теорії оптимальних  
процесів.

Захист відбудеться „07” квітня 2017 р. о 16<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої  
вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка»  
(79013, м. Львів, вул. Професорська, 2, корп. 11, ауд. 218).

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці  
Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул.  
Професорська, 1)

Автореферат розісланий „03” березня 2017 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д.т.н., професор



Р. А. Бунь

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Наукові дослідження в області розроблення і функціонування інтелектуальних агентів (ІА) полягають у створенні математичних моделей та методів побудови інформаційних систем, які орієнтовані на ті сфери діяльності людини, що вимагають логічного міркування, певної майстерності та досвіду, тобто базуються на знаннях. Клас таких прикладних задач включає планування та моніторинг діяльності, прогнозування та класифікацію явищ тощо.

Основною компонентою інтелектуальних агентів є база знань, що формується відповідно до предметної області, на яку зорієнтоване функціонування цієї системи. Як стандарт інженерії знань, розробники інтелектуальних агентів використовують онтологічний інжиніринг. Результатом такого інжинірингу є онтологія бази знань. Онтологія – це детальна формалізація деякої області знань, подана за допомогою концептуальної схеми. Така схема складається з ієрархічної структури понять, зв'язків між ними, теорем та обмежень, які є прийнятні у певній предметній області.

Наукові дослідження в напрямі використання онтологій під час розроблення та функціонування ІА почалися в кінці минулого століття та інтенсивно розвиваються. Основні теоретичні засади формальних математичних моделей онтологій розроблено у роботах Т. Грубера, Дж. Солтона та А. Гомес-Переса, які запропонували онтологію розглядати як тривимірний кортеж; використання онтологій під час функціонування прикладних інформаційних систем описано в роботах Р. Кнаппе, К. Джонса, Е. Кауфмана, Е. Мена, М. Бориса, А. Каллі, І. П. Норенкова, М. Ю. Уварова та Ю. В. Рогушина; проблему побудови інтелектуальних систем на основі онтологій розглянуто в роботах Т. Андреасена, Т. Бернерса-Лі, Д. Хендлера, О. Лазсіла, О. В. Палагіна, А. В. Анісімова та А. Я. Гладуна.

Особливу увагу серед ІА заслуговують агенти планування діяльності, оскільки багато прикладних задач зводяться до задачі планування (оптимальний розподіл ресурсів, раціональна поведінка, економічний розвиток об'єкта в часі, підвищення експлуатації окремих засобів тощо). Аналіз основних підходів, методів та засобів побудови інтелектуальних агентів планування діяльності показує, що в складі таких систем використовуються не всі можливості онтологій, особливо під час моделювання функціональності таких систем. Поведінка таких систем зводиться до пошуку оптимального шляху в просторі станів, однак не очевидно, як такий пошук здійснювати. Пошук оптимального шляху повинен ґрунтуватися на правилах (законах), які задаються у межах певної предметної області. Для формалізації таких правил пропонується використовувати онтології.

Виникає завдання розроблення та запровадження уніфікованих методів побудови інтелектуальних агентів планування діяльності з використанням онтологічного підходу з метою підвищення ефективності процесів функціонування таких систем. У дисертаційній роботі подано вирішення цього завдання у вигляді теоретично обґрунтованих моделей функціонування та методів побудови ІА планування діяльності на основі онтологій, суть яких полягає в адаптації баз знань цих систем до специфіки задач відповідної предметної області, а також методів автоматизованої розбудови онтологій.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано в межах наукового напрямку «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства» визначеного пріоритетним у переліку актуальних проблем Міністерством освіти і науки України, концепції програми інформатизації НАН України, визначеної пріоритетним напрямом, згідно розпорядження № 146 від 27.02.2004 р. та за тематикою наукових досліджень кафедри інформаційних систем і мереж Національного університету «Львівська політехніка», зокрема за темою «Розроблення інтелектуальних розподілених систем на основі онтологічного підходу з метою інтеграції інформаційних ресурсів», № держреєстрації 0115U004228 (автор розробив метод побудови інтелектуальних агентів планування діяльності на основі онтологій, що дало змогу підвищити ефективність функціонування інтелектуальних систем бізнес-аналітики).

Окрім того, отримані результати використано під час виконання науково-дослідної роботи у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України «Розроблення інформаційних технологій автоматизованого синтезу онтології матеріалознавства» (2011–2013 рр.), номер державного реєстру 0111U002382 (автор спроектував та реалізував визначення окремих елементів онтології фізико-хімічної механіки матеріалів за допомогою дескриптивної логіки).

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розроблення математичного та програмного забезпечення функціонування спеціалізованих інтелектуальних агентів планування дій з використанням онтологічного підходу.

Метою дисертаційної роботи визначено необхідність виконання таких задач:

- провести аналіз специфіки функціонування спеціалізованих інтелектуальних агентів та методів побудови планування їх дій;
- розробити математичне забезпечення планування дій спеціалізованих інтелектуальних агентів з використанням онтологічного підходу (побудова простору станів та пошук у ньому шляху переходу);
- розробити метод автоматизованого наповнення онтологій та на його основі реалізувати відповідне програмне забезпечення;
- розробити архітектуру програмного комплексу планування дій спеціалізованих інтелектуальних агентів;
- провести апробацію отриманих результатів шляхом розроблення та впровадження прикладних спеціалізованих інтелектуальних агентів планування дій.

*Об'єктом дослідження* є процес побудови інтелектуальних агентів планування дій.

*Предметом дослідження* є методи та засоби побудови спеціалізованих інтелектуальних агентів планування дій на основі онтологічного підходу.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети використано: теорію множин, теорію графів та методи подання знань для моделювання структури онтології та розроблення процедур її автоматизованої розбудови; теорію формальних систем та функціонального аналізу для побудови моделей функціонування інтелектуальних агентів планування діяльності; методи системного

аналізу, методи об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування – для розроблення прикладних інтелектуальних агентів планування діяльності; теорію реляційних баз даних, методи штучного інтелекту, об'єктно-орієнтоване програмування – для програмної реалізації розроблених моделей, методів та алгоритмів функціонування прикладних інтелектуальних агентів планування дій.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна одержаних результатів полягає в науковому обґрунтуванні та вирішенні завдання підвищення ефективності функціонування інтелектуальних агентів планування дій шляхом використання онтологій у цих системах і методів стимулюючого навчання. Отримано такі нові наукові результати:

- удосконалено математичне забезпечення функціонування спеціалізованих інтелектуальних агентів планування дій шляхом використання онтології предметної області, в межах якої функціонує інтелектуальний агент, яке, на відміну від існуючих, задає простір станів та переходів між ними на основі онтологічних знань, що дало змогу звести задачу функціонування інтелектуальних агентів планування діяльності до задачі динамічного програмування;
- вперше побудовано критерій раціональної поведінки інтелектуального агента на основі методів стимулюючого навчання, що, на відміну від інших підходів, дає змогу формалізувати процес функціонування інтелектуальних агентів планування дій, ядром бази знань яких є онтології;
- одержав подальший розвиток метод автоматизованої розбудови онтологій предметної області для задач планування дій шляхом врахування міри довіри до джерела інформації, яке використовується для розбудови онтології, що дало змогу будувати простір станів, релевантний до бази знань спеціалізованої предметної області.

Наукове значення результатів, отриманих у дисертаційній роботі, полягає в розробленні методу функціонування інтелектуальних агентів планування дій з використанням онтологічного підходу. Автор використав методи стимулюючого навчання для задання критерію оптимальної поведінки такого агента. Розроблені методи та засоби дали можливість будувати ефективні інтелектуальні агенти планування дій у тих предметних областях, в яких знання чітко формалізуються за рахунок онтологій.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичну цінність отриманих наукових результатів дисертаційної роботи підтверджує те, що завдяки використанню розроблених методів підвищується ефективність функціонування ІА планування дій. Зокрема, практично цінними є такі результати:

- врахування міри довіри до джерела інформації дає змогу зменшити простір станів, у якому здійснюється пошук шляху розв'язку задачі планування;
- застосування процедур автоматизованої розбудови онтологій природно-мовними текстами суттєво розширює сферу використання таких онтологій та зменшує затрати на їх реалізацію.

Результати дисертаційної роботи запроваджено під час розроблення віртуального автоматизованого робочого місця наукового працівника у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України (м. Львів), а також теоретичні та практичні результати дослідження використовуються у навчальному процесі кафедр «Інформатики і математичного моделювання» та «Комп'ютерних наук» факультету комп'ютерно-інформаційних систем та програмної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Окремі результати дисертаційного дослідження використовуються у Відокремленому структурному підрозділі Золочівський коледж Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисциплін «Організація баз даних та знань», «Об'єктно-орієнтоване програмування», що підтверджено відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати, подані в дисертації, одержані здобувачем особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: [1, 2] – розробка методів та засобів для побудови онтології; [3, 4, 13] – побудова петлі Бойда, центральною компонентою якої є онтологія; [5] – дослідження методів і засобів для моделювання поведінки раціонального агента на основі стимулюючого навчання; [6, 7] – розроблено методи та засоби для автоматизованої розбудови онтології; [8] – розроблено математичне забезпечення функціонування інтелектуальних агентів, центральною компонентою яких є онтологія; [9, 10, 11] – моделювання поведінки петлі OODA при взаємодії з онтологією; [12, 14, 15] – дослідження методів для розробки онтології.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних, українських та міжвузівських конференціях та семінарах, зокрема на: II та IV міжнародних наукових конференціях „Інформація, комунікація, суспільство” (ІКС-2013 та ІКС-2015), Львів-Славське, 16-19 травня 2013 р. та 20-23 травня 2015 р.; Міжнародних науково-практичних конференціях „Інформаційні технології. Освіта”, Луцьк-Світязь, 3-4 червня 2013 р. та 6-8 червня 2014 р.; Міжнародній науковій конференції „Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, Залізний Порт – Херсон, 2014 р.; XIIIth International Conference „The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”, Polyana-Svalyava, 24-27 лютого 2015 р.; Десятій міжнародній науково-практичній конференції „Математичне та імітаційне моделювання систем” (МОДС 2015), Чернігів, 22-26 червня 2015 р.

Результати дисертаційного дослідження регулярно доповідалися на наукових семінарах кафедри «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка» (2012-2015 рр.).

**Публікації.** Основні результати роботи відображені у 15 опублікованих працях, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях України та 2 статті в наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до наукометричних баз даних, 7 публікацій у збірниках тез конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Має загальний обсяг 230 сторінок, основна частина – 150 сторінок, містить 43 рисунки та 9 таблиць, 111 найменувань у списку використаних літературних джерел. У додатках наведено акти впровадження та програмні коди розробленої інформаційної системи.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання досліджень, показано зв'язок із науковими програмами, планами, темами, розкрито наукову новизну. Розглянуто практичну цінність, реалізацію та впровадження результатів роботи. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі** подано загальний огляд проблематики побудови інтелектуальних агентів (ІА) планування дій, зокрема пошуку цільового стану у просторі станів. Суть діяльності таких агентів полягає у знаходженні шляху із початкового стану в стан мети *Goal* із задоволенням певних критеріїв. Як правило, такі критерії задають раціональну поведінку ІА. Суть їх полягає у знаходженні такого *Path*, щоб затрати на перехід були мінімальні, а виграш (реакція зовнішнього середовища в межах якого функціонує ІА) від такого переходу був максимальний. Така раціональна поведінка чимось подібна на відому економічну модель „ціна-якість” (ми шукаємо товар якомога найдешевший і найкращіший). Тобто така задача є двокритеріальною.

Складність пошуку розв'язку сформульованої задачі напряму залежить від кількості альтернатив переходу між двома станами, в яких може перебувати ІА. Множини альтернатив переходів між станами задають простір пошуку *Path*. Для звуження простору пошуку і для визначення релевантного переходу між станами використовуються знання, якими володіє ІА. Тобто основною компонентою ІА є база знань (БЗ), призначення якої полягає у зберіганні, впорядкуванні та керуванні інформацією про предметну область (ПО) та задачі, які в ній виникають. Найважливіший параметр БЗ – якість та повнота знань про ПО, яку вона задає. Якість БЗ залежить від структури та формату знань, способу їх подання. Для широкого впровадження будь-якої технології чи методики необхідний чіткий і аргументований стандарт. У галузі розроблення БЗ таким стандартом стають онтології, як спосіб формального подання знань. Онтологія – це знання, формально відображені на основі концептуалізації. Формально онтологія складається з понять (термінів, концептів), організованих у таксономію, відношень між поняттями, а також пов'язаних із ними аксіом і правил виведення.

Враховуючи вище наведене, під *формальною моделлю онтології*  $O$  розуміють:

$$O = \langle C, R, F \rangle, \quad (1)$$

де  $C$  – скінченна множина понять (концептів, термінів) ПО, яку задає онтологія  $O$ ;  $R: C \rightarrow C$  – скінченна множина відношень між поняттями (термінами, концептами) заданої ПО;  $F$  – скінченна множина функцій інтерпретації (аксіоматизація, обмеження), заданих на поняттях чи відношеннях онтології  $O$ .

Розрізняють три типи онтологій: предметно-орієнтовані (Domain-oriented), орієнтовані на прикладну задачу (Task-oriented) та загальні онтології (Top-level). Предметно-орієнтовані онтології містять таксономію понять, додаткові відношення, екземпляри класів і різні види обмежень (аксіом). Аксіоми встановлюють семантичні обмеження для системи відношень. Мета онтології задач – зробити знання доступними для повторного використання. Онтології задач визначають ступінь використання знань у процесі логічного виведення. Загальна онтологія описує категорії – поняття верхнього рівня.

Підсумовуючи аналіз першого розділу, можна зробити висновок, що виникає задача розроблення методу використання онтологій під час функціонування ІА планування дій.

**У другому розділі** розроблено математичне забезпечення функціонування ІА планування дій з використанням онтологічного підходу.

Задача планування дій  $ZP$  містить три складові: множину станів  $S$ , множину дій  $A$ , множину станів мети  $Goal$ , тобто

$$ZP = \langle S, A, Goal \rangle. \quad (2)$$

Для ефективного планування дій ІА повинен вміти оцінювати стани та дії. З цією метою скористаємося моделлю адаптивної онтології, введenu В. В. Литвином. Така онтологія визначається так:

$$\hat{O} = \langle \hat{C}, \hat{R}, F \rangle, \quad (3)$$

де  $\hat{C} = \langle C, W \rangle$ ,  $\hat{R} = \langle R, L \rangle$ ,  $W$  – вага важливості понять  $C$ ,  $L$  – вага важливості відношень  $R$ .

Суть запропонованого методу звуження простору пошуку *Path* полягає в наступному: окремим поняттям  $\tilde{C} = \{\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \dots, \tilde{C}_m\}$  онтології, які задають альтернативи переходу між станами, надаємо вагу  $W_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . З часом ця вага буде змінюватися, а саме зростатиме в залежності від міри довіри  $\sigma$  до джерела, на основі якого ця альтернатива була додана в онтологію. Ті поняття із множини  $\tilde{C}$  вилучатимемо, збільшення ваг яких за певний термін не перевищуватиме деякий поріг  $\lambda$ . Детальніше цей метод описано в 3-му розділі, де розглянуто питання розбудови онтології. Відзначимо, що існують альтернативи  $C' = \{C'_1, C'_2, \dots, C'_m\}$  переходів між станами, які вилучати із онтології не можна, тобто  $\tilde{C} \cap C' = \emptyset$ . Такі елементи онтології визначаються експертами ПО. Крім того, експерти відзначають, які концепти онтології переходять із множини  $\tilde{C}$  в  $C'$  і навпаки.

Після того, як простір пошуку *Path* звужено, розглянемо задачу вибору шляху переходу між двома сусідніми станами. Як згадувалось вище, така задача є двокритеріальною. Спочатку розглянемо кожний критерій окремо, а потім зведемо двокритеріальну задачу до одного критерію.

Нехай множина понять  $C$  описується характеристиками (властивостями)  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ ;  $D_i$  – домен властивості  $x_i$ ; значення властивості  $x_i$  позначатимемо  $z_i = z(x_i)$ . Нехай  $v(S_k)$  оцінка стану  $S_k$ ;  $a_j^{kl}$  – перехід із стану  $S_k$  у стан  $S_l$ , з використанням альтернативи  $\alpha_j$ ;  $v(a_j^{kl})$  – оцінка дії  $a_j^{kl}$ . Стан мети  $Goal$



визначається тим, що деяка підмножина ознак  $X$  має досягати певних значень  $z(x, Goal) \forall x \in X$ .

Для вибору дій спиратимемось на раціональність поведінки ІА, тобто на прагненні мінімізувати витрати ресурсів для досягнення стану мети. Кожна дія  $a_j^{kl}$  визначається витратами ресурсів  $g_j^{kl}$  (ціна переходу зі стану в стан). Так у задачі фізико-механічної діагностики виробів тривалої експлуатації кожна з альтернатив характеризується витратами ресурсів та терміном експлуатації. Інформація про альтернативи, витрати ресурсів, а також термін експлуатації зберігається в онтології. Очевидно, що можуть з'являтися нові альтернативи, тому необхідний модуль поповнення онтології.

Оцінка дії прямо пропорційна до витрати ресурсів, тобто  $v(a_j^{kl}) = E \cdot g_j^{kl}$ , де  $E$  – скалярна величина. Задача ІА полягає в мінімізації величини

$$V^* = \sum_{i \in Path} v(a_{j_i}^i) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $i = (k, l)$  задає шлях переходу зі стану  $S_k$  у стан  $S_l$ ,  $j_i$  – номер альтернативи, яка була вибрана для такого переходу.

Для оцінки реакції зовнішнього середовища на поведінку ІА розроблено метод, який ґрунтується на стимулюючому навчанні. Формально задача має такий вигляд. Нехай на кожному кроці агент перебуває у стані  $s$  з деякої множини станів  $S$ . На кожному кроці він вибирає з наявного набору дій  $A$  деяку дію  $a$ . У відповідь на це навколишнє середовище повідомляє агенту, яку винагороду він отримав і в якому стані. У загальному випадку – агент повинен досліджувати навколишнє середовище і вибирати оптимальну поведінку.

Позначимо як  $Q^*(S)$  очікуваний виграш ІА у стані  $S$ ;  $Y: S \times A \rightarrow Y$  – функції заохочення;  $T: S \times A \rightarrow S'$  – функції переходу між станами. Задача полягає в максимізації виграшу. Зрозуміло, що в реальній ситуації на початку процесу агент перебуває в абсолютному незнанні – не відома реакція системи на жодні дії, у тому числі й переходи між станами. Однак, будемо вважати, що модель задачі, яку розв'язує ІА, відома.

Згідно з теорією стимулюючого навчання, оптимальне значення стану – це та нагорода, яку отримуємо, якщо ІА діє найкращим чином. Це значення можна визначити як розв'язок рівнянь:

$$Q^* = \max_{a \in A} \left( Y(S, a) + \gamma \sum_{Path} T(S, a, S') Q^*(S') \right). \quad (5)$$

Якщо його знати, то вибір оптимальної стратегії здійснюємо згідно формули:

$$\pi^*(s) = \arg \max_a \left( Y(S, a) + \gamma \sum_{Path} T(S, a, S') Q^*(S') \right).$$

Така задача розв'язується ітераційним способом.

Беручи до уваги (4) та (5), отримуємо двокритеріальну задачу. З математичної точки зору не існує ідеального методу або способу розв'язання таких задач. Кожен із них має свої певні переваги, недоліки та область застосування. Проаналізувавши

відомі методи, обрано метод головної компоненти, якщо цільові функції (4) або (5) можна оцінити відповідно знизу або зверху; якщо їх оцінити неможливо, то використовуємо метод комплексного критерію. Тим самим отримуємо одну із трьох задач:

$$\min V^*, Q^* \geq Q, \quad (6)$$

$$\max Q^*, V^* \leq V, \quad (7)$$

$$\min f = \frac{V^*}{Q^*}. \quad (8)$$

Задачі (6)-(8) є багатокроковими оптимізаційними задачами, тобто задачами динамічного програмування. Використовуючи метод розв'язку таких задач (наприклад функціональних рівнянь), знаходимо шлях переходу з початкового стану в стан мети.

**У третьому розділі** розроблено метод автоматичної розбудови онтології на основі аналізу та опрацювання природномовних текстових документів. Під час такої розбудови розроблено метод зменшення простору пошуку шляху із поточного стану у стан мети. Також розроблено архітектуру та реалізовано модулі програмної системи автоматичної розбудови онтології.

Автоматична розбудова онтології реалізується засобами Java API Protege-OWL. Ці засоби містять бібліотеки класів, в яких реалізовано методи роботи з OWL-структурами: їх читання та доповнення. Таким чином, програмні засоби розбудови онтології функціонують у взаємодії з OWL-онтологією, беручи з неї шаблони граматично-семантичних структур для розпізнавання тверджень (предикатів дескриптивної логіки) у досліджуваних і/або навчальних текстах та додаючи до неї нові елементи в результаті такого розпізнавання. Для цього застосовується Link Grammar Parser (LGP), який розбиває стверджувальне речення, написане граматично правильною англійською мовою, на семантично пов'язані між собою пари слів. LGP містить у своєму складі таблицю відповідності між граматичними конструкціями англійської мови та типами синтаксично-семантичних зв'язків між словами (поняттями). API LGP дозволяє пов'язати цю таблицю з OWL-онтологією, завдяки чому таблиця може динамічно адаптуватися у процесі навчання до заданої ПО.

Окремі класи понять накладають обмеження на властивості їх екземплярів засобами дескриптивної логіки. Такі обмеження можна згрупувати у три основні категорії: кванторні обмеження (існування, загальності); обмеження кількості допустимих значень (мінімум  $\leq$ , якраз  $=$ , максимум  $\geq$ ); обмеження типу “може приймати значення з множини”.

Обмеження існування описує клас екземплярів, які мають принаймні один зв'язок вказаного семантичного значення з екземпляром вказаного класу. У цьому разі квантор існування застосовується до множини зв'язків екземпляра (а не до множини екземплярів класу, як може видаватися). Отже, квантор існування свідчить, що цей клас містить лише ті екземпляри, множина зв'язків яких має конкретний зв'язок:  $\{x \mid \exists r, r(x, y)\}$ .

Квантор загальності свідчить, що цей клас містить лише ті екземпляри, множина всіх зв'язків яких містить вказаний тут явно винятковий перелік зв'язків:  $\{x \mid \forall r, R_i \in r, R_1(x, y_1) \wedge R_2(x, y_2) \wedge \dots \wedge R_n(x, y_n)\}$ .

Засоби машинного навчання на базі Java-бібліотек Protege-OWL містить узагальнений опис семантичного зв'язку, який служить шаблоном для генерування у процесі навчання нових типів семантичних зв'язків та формування для їх ідентифікації в тексті відповідних векторів ознак цих зв'язків. При цьому до онтології додаються відповідні класи зв'язків та їх властивості. Екземпляри цих класів служать для опису існуючих та нових класів онтології шляхом їх використання як предикатів дескриптивної логіки.

Метод розбудови онтології має сенс лише у складі деякої інтелектуальної системи. Оптимальним є рішення, в якому такою інтелектуальною системою є система інформаційного пошуку, для якої адаптивна онтологія з одного боку є інструментом для інформаційного пошуку, аналізу і класифікації, а з другого – сама використовує засоби пошуку для постачання нових даних для свого наповнення, синтезу нових предикатів і правил, навчання нових понять та семантичних зв'язків між ними. Таким рішенням стала інтелектуальна система інформаційного пошуку на базі адаптивної онтології, бази знань у галузі матеріалознавства та бази даних наукових публікацій у цій галузі. Крім того, ми не лише розбудовуємо онтологію, а й вилучаємо з неї елементи, які стали не релевантними з точки зору задач, які розв'язує ІА.

Нехай у деякий момент часу  $t$  вага концепту  $\tilde{C}_k$  онтології  $O$  рівна  $W_k^t$ . Для зростання ваг концептів використовуються електронні природномовні документи  $T$  (статті, тези конференцій, анотації статті, якщо сама стаття недоступна, монографії тощо). Кожен такий документ  $T$  належить до певного джерела інформації  $U$  (науковий журнал, сайт тощо). Тобто існує множина джерел  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_K\}$ , а кожне таке джерело містить множину текстових документів  $U_i = \{T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{ik_i}\}$ . Міру довіри до джерела  $U_i$  позначатимемо  $\sigma_i \in [0, 1]$ ,  $\sigma_i = 0$  – повна недовіра до джерела  $U_i$ ,  $\sigma_i = 1$  – максимальна довіра до джерела  $U_i$ . Насамперед вважаємо, що міра довіри всіх джерел рівна 0,5. Під час наповнення онтології концептами із текстових документів міра довіри до джерела змінюється. Запропоновано такий метод зміни міри довіри: нова міра довіри  $\sigma_H$  до джерела рівна  $\sigma_H = 2 \cdot \sigma_C - \sigma_C^2$ , якщо експерт включив текстовий документ із цього джерела для наповнення онтології, де  $\sigma_C$  – стара міра довіри, і  $\sigma_H = \sigma_C - \sigma_C^2$ , якщо експерт не включив жодного текстового документа з цього джерела для наповнення онтології. Якщо  $\sigma_H < 1$ , то таке джерело інформації далі не розглядається. Тобто, якщо з певного джерела 6 разів підряд не взято жодного документа для наповнення онтології, то його  $\sigma_H \approx 0,099$  й таке джерело виключається з подальших переглядів.

Тоді ваги концептів  $\tilde{C}_k$  змінюються за такою формулою:

$$W_k^{t+1} = W_k^t + \sum_{T_j \otimes U_i} \sigma_i, \quad (9)$$

де запис  $T_{ij} \otimes U_i$  означає, що текст  $T_{ij}$  був використаний для наповнення онтології.

Із онтології виключаються ті концепти, для яких  $W_k^{t+1} - W_k^t < \Delta^t$ . Такий метод дає змогу зменшити простір пошуку *Path*.

Отримаємо таку послідовність кроків функціонування системи автоматизованої розбудови онтології:

**Крок 1.** Сформувати множину джерел інформації  $U$ .

**Крок 2.** Перерахувати довіру  $\sigma_i$  до джерела інформації  $U_i$ .

**Крок 3.** Обчислити вагу  $W$  концепту  $C$  онтології.

**Крок 4.** Здійснити редагування онтології в залежності від приросту ваги концепту.

Розроблена система має дві основні функції:

1) інтерактивна автоматизована побудова онтології заданої проблемної області;

2) пошук, збереження і класифікація (ранжування) наукових публікацій як в інтерактивному напівавтоматичному, так і в автоматичному режимі.

Кожна з цих функцій реалізована своїм базовим набором функціональних модулів, але частина з цих програмних модулів має подвійне призначення. Система реалізована мовою програмування Java за об'єктно-орієнтованою парадигмою як ієрархія класів програмного коду, екземпляри яких викликають одне одного з визначеними на момент виклику параметрами і/або взаємодіють через події та їх обробники. Більшість модулів системи мають графічний інтерфейс Swing та AWT бібліотек. Всі підключені бібліотеки мають статус відкритих і безкоштовно розповсюджуються. Завдяки їх застосуванню проект є повнофункціональним і має всі необхідні засоби для послідовного розвитку.

У роботі було досліджено широкий перелік діючих аналогічних до розробленого проектів, переважна більшість яких спирається на концепцію відкритого програмного коду та розповсюдження програмних продуктів на умовах безоплатного ліцензування. Провідні групи розробників забезпечують свої проекти засобами API (Application Programming Interface), завдяки яким функціональність цих проектів може бути ефективно використана простим застосуванням каталогізованих і добре документованих процедур і функцій із відповідними параметрами. Як показали дослідження, лівова частка розробок у галузі опрацювання природомовних текстових документів, майже всі розробки в галузі побудови та навчання онтологій припадають на мову Java. Крім того, Java зберігає домінування серед мов проектів, розміщених на ресурсі SourceForge. Крім того, доступна Java API у проекті Стенфордського університету (США) Protege-OWL, адже саме Стенфордський Центр досліджень з біомедичної інформатики (Stanford Center for Biomedical Informatics Research), став флагманом практичних розробок у галузі засобів розроблення, редагування та навчання баз знань та онтологій мовою подання знань OWL.

Система написана на мові Java, якою розроблено проекти: Gate [<http://gate.ac.uk/>] – множина засобів опрацювання текстових документів із метою виявлення нових знань; owlapi.sourceforge.net – ще один Java-проект, який являє собою бібліотеку Java-класів із широкою функціональністю з опрацювання OWL-

документів; Pellet [<http://clarkparsia.com/pellet/>] – програмний засіб – машина логічного виводу на Java для реалізації міркувань (виведення нових знань) з бази знань на мові OWL 2.0.

У четвертому розділі описано апробацію отриманих результатів дослідження, які ґрунтуються на розроблених моделях, методах та алгоритмах.

Пропонована архітектура системи планування дій спеціалізованих інтелектуальних агентів наведена на рис. 1.

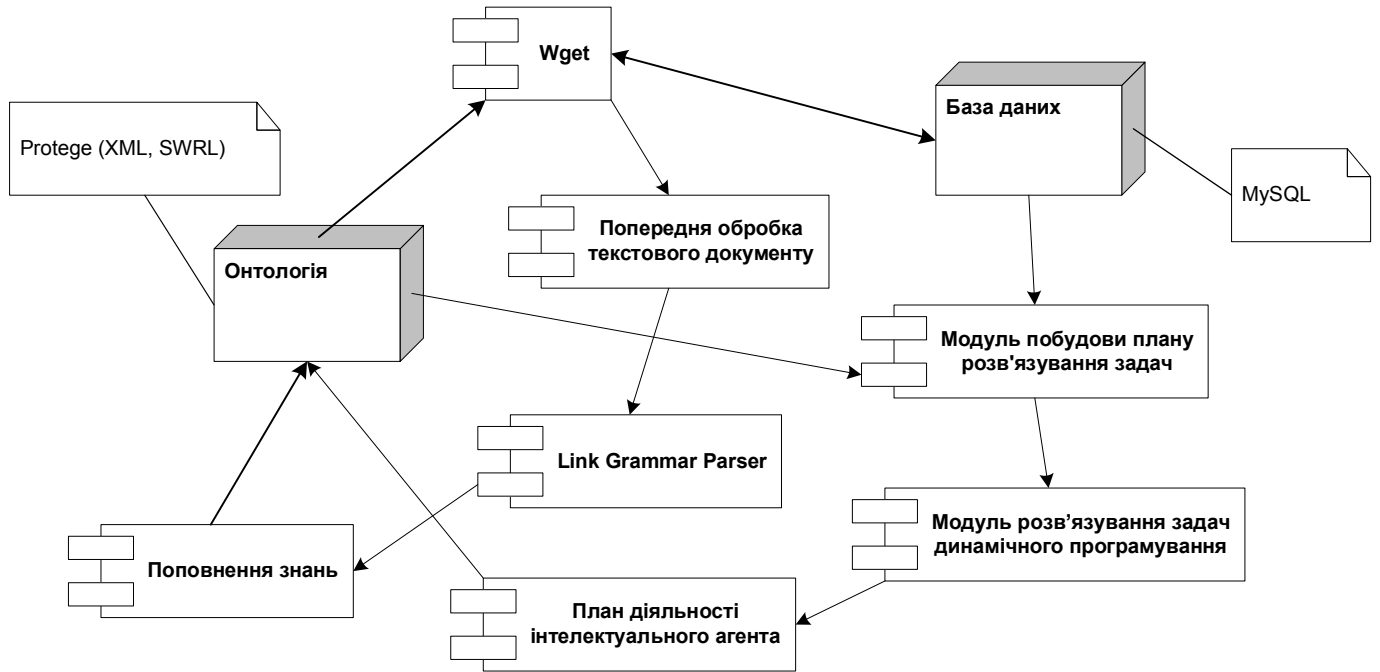


Рис. 1. Архітектура системи планування дій спеціалізованих ІА

Архітектура системи складається із онтології, яка містить онтологію задач, на розв'язання якої націлене функціонування спеціалізованого ІА, та онтологію предметної області, яка задає альтернативи розв'язання окремих підзадач. У базі даних зберігаються екземпляри окремих понять онтології, а також історія функціонування спеціалізованого ІА. Центральним модулем є модуль побудови плану розв'язування задач, який функціонує на основі онтології та екземплярів понять онтології (бази даних). Після побудови простору пошуку ефективного плану дії ІА, запускається модуль розв'язування задачі динамічного програмування методом функціональних рівнянь. У результаті отримуємо план діяльності ІА. Для розбудови та редагування онтології використовується модуль попередньої обробки текстових документів, програмний засіб Link Grammar Parser для пошуку понять предметної області у текстових документах, які релевантні предметній області, а також утиліта Wget для завантаження файлів за протоколами HTTP, HTTPS та FTP.

Беручи до уваги метод, описаний у розділах 2-3, отримаємо діаграму діяльності функціонування системи планування дій спеціалізованих інтелектуальних агентів, яка наведена на рис. 2. Функціонування системи складається з п'яти етапів. Між етапами 2 та 3 знаходиться проміжний етап, який полягає в автоматизованій розбудові онтології. Діаграма діяльності цього етапу наведена на рис. 3.

Як приклад розглянемо виріб тривалої експлуатації – трубу (газову чи для води). Проблема формулюється так: як при мінімальних затратах максимально продовжити ресурс трубопроводу, беручи до уваги, що: 1) основним обмежувальним ресурсфактором слугує електрохімічна корозія труби; 2) заданий орієнтовний економічний ефект, який отримує ІА від експлуатації трубопроводу та можливі втрати від припинення експлуатації; 3) затрати на протикорозійний захист відомі й визначаються технологією такого захисту; 4) орієнтовні терміни безаварійної експлуатації трубопроводу за відомих (заданих) вжитих заходів із його протикорозійного захисту відомі з експертних оцінок, нормативів, даних неруйнівного контролю та технічної діагностики.

Загальне правило заміни відновлення покриття формулюється так: *ЯКЩО ((Настав термін відновлення покриття) АБО (Настала подія пошкодження покриття) АБО (Вимірювані параметри перевищують встановлений раніше допустимий поріг)) І (Наявні ресурси для оновлення покриття) ТО (Виконати заміну покриття).*

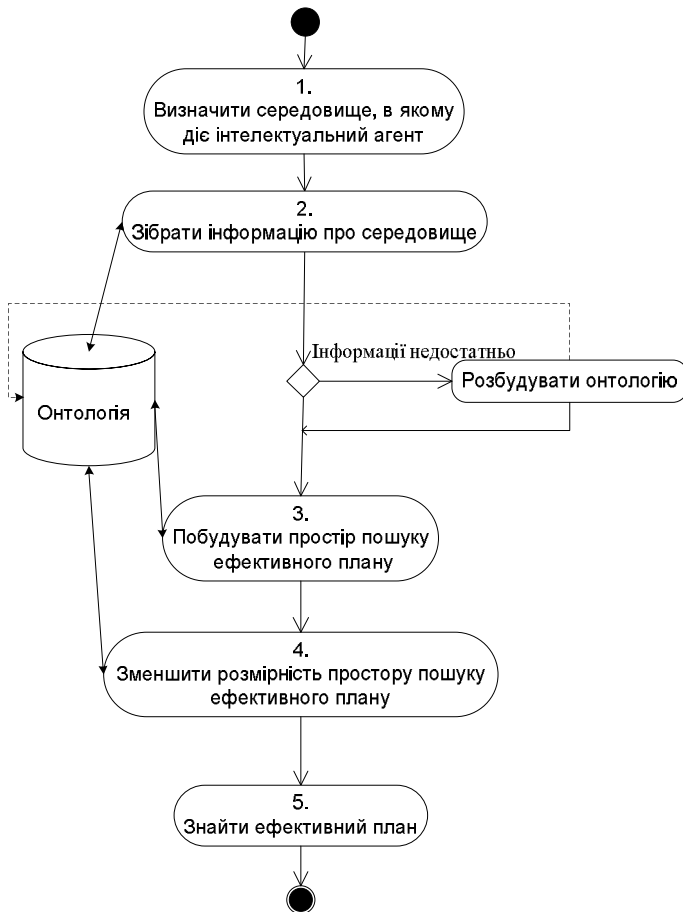


Рис. 2. Діаграма діяльності функціонування системи планування дій спеціалізованих ІА

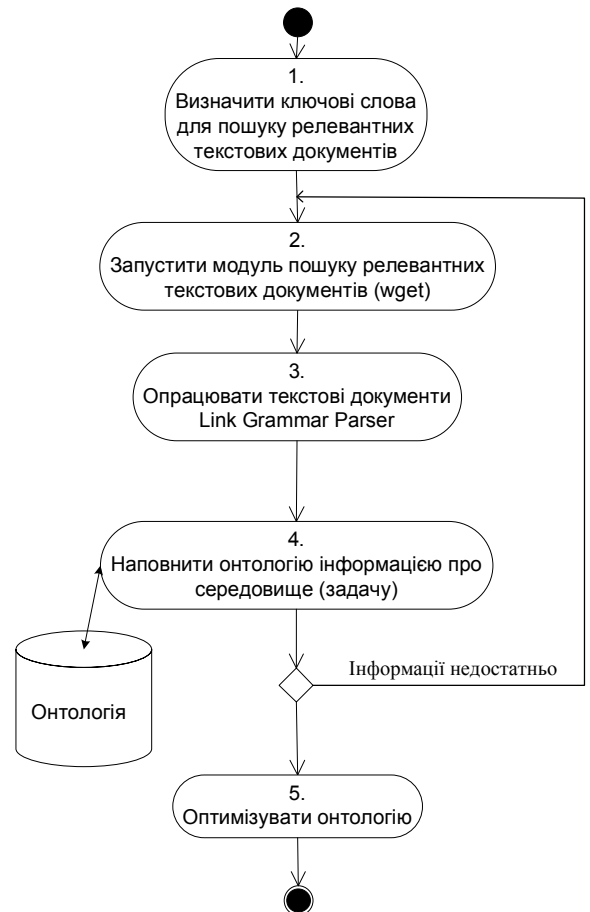


Рис. 3. Діаграма діяльності етапу автоматизованої розбудови онтології

База знань деталізує це правило через систему уточнювальних продукційних правил. Для ІА інформаційного пошуку цінною вважається інформація, яка дає змогу досягнути успіху у вирішенні цієї проблеми, тобто: інформація про нові види протикорозійного захисту, що дають подовжені терміни безаварійної експлуатації; інформація про уточнену оцінку ресурсу трубопроводу; інформація про ефективніші технології нанесення покриттів.

Початковим станом є стан “необроблена”. Стан мети: “оброблена”. Завдання ділимо на шість етапів (розкриття поверхні труби, зняття захисного покриття, знежирення, ґрунтування, покриття, захист). Для виконання кожного етапу використовують альтернативні рішення. Так для етапу зняття захисного покриття можна використати одну із трьох альтернатив: механічне, хімічне, термічне. Вся ця інформація зберігається у відповідній онтології.

Базова онтологія ПО матеріалознавства будувалася на основі книги Я. Середницького, Ю. Банахевича, А. Драгілева “Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопроводному транспорті”. Автоматизована розбудова онтології здійснювалася на основі таких джерел інформації: Open Access Materials Science Journal ( $U_1$ ), Journal Materials & Design ( $U_2$ ), Journal Nature Materials ( $U_3$ ), Materials science ( $U_4$ ), Surface Technology / Functional Coating ( $U_5$ ), Journal Surface and Coatings Technology ( $U_6$ ), Protective Coatings and Compounds ( $U_7$ ). Графік зміни міри довіри до цих 7 джерел інформації в залежності від етапу розбудови онтології наведено на рис. 4.

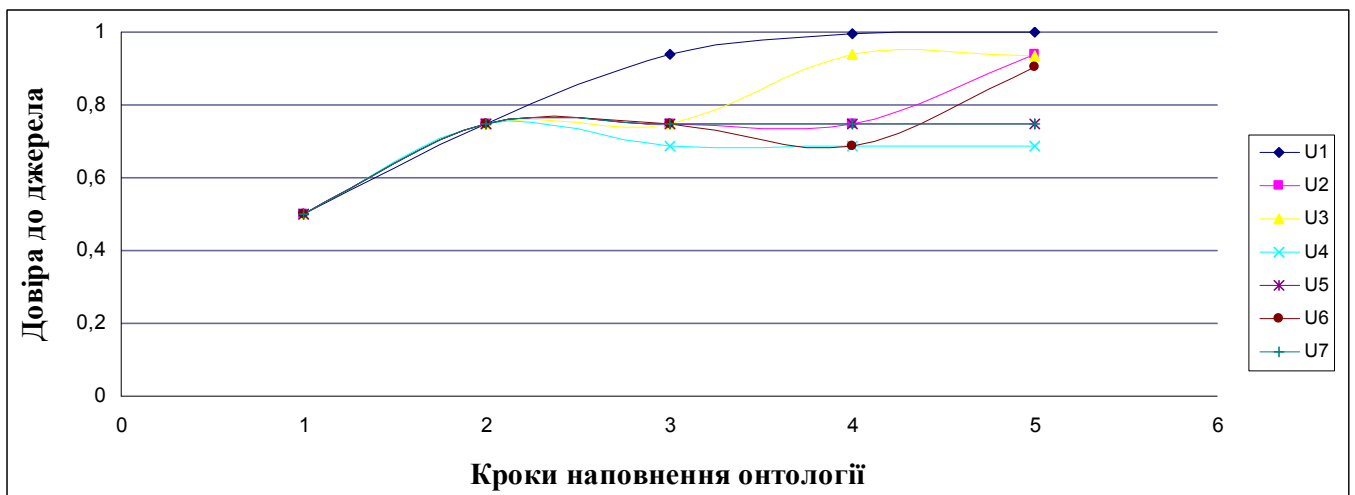


Рис. 4. Зміна довіри до джерел інформації, якими наповнюють онтологію

Призначення онтології полягає в реалізації ІА деякого плану на основі раціональної поведінки. Така раціональна поведінка складається з чотирьох компонент: а) множини дій, з яких складаються етапи плану; б) множини обмежень впорядкування типу  $A \prec B$  ( $A$  перед  $B$ ); в) множини причинних зв'язків (інтервалів захисту) типу  $A \xrightarrow{P} B$  ( $A$  досягає  $P$  для  $B$ ), коли за умовами ПО  $P$ , спричинене  $A$ , не може змінитися, доки не наступить стан  $B$ ; г) множини відкритих передумов для кожного з етапів плану.

Записано аксіоми термінів словника та атомарні висловлювання про екземпляри понять. Після цього здійснено налагодження БЗ. Неправильні аксіоми були виявлені на підставі того, що вони являють собою неправильні твердження про світ.

Онтологія містить понад 3000 понять, 40% понять є визначеними.

Для отримання показників періоду експлуатації та вартості робіт використовуємо мову запитів SPARQL до онтології. Наприклад, запит *PREFIX* table: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1253189272> *SELECT* \* *FROM* <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1253189272.owl> > *where*  $\{\{\$Cleaning$  *rdfs:comment*  $\$value.\$Cleaning$  *rdfs:subClassOf* <#Cleaning>.\}\} *ORDER BY ASC(?value)* повертає

методи очистки поверхонь трубопроводів: Очистка ручним інструментом, Очистка електричним інструментом, Комерційна очистка, Очистка до майже чистого металу, Очистка до чистого металу.

Запит: *PREFIX table: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1253189272>*  
*SELECT \* FROM <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1253189272.owl> where*  
*{{ \$Paints\_varnishes rdfs:comment \$value. \$Paints\_varnishes rdfs:subClassOf*  
*<#Paints\_varnishes>. \$Period > 20. }} ORDER BY ASC(?value)* повертає лакофарбові матеріали, використання яких дозволяє використовувати металеву поверхню більше, ніж 20 років. Перелік таких матеріалів, які зберігаються в онтології, такий: “Амберкоут – 2000”, “Амберкоут СЕЛ – 600”, “FC-210/ Амберкоут”, “Протегол UP – Коутінг 32-55”, “Десмодур/Десмофен СЖГ 17605 і 18045”, “Ромпур 804”; “ГІІ”.

Кількість альтернатив для кожного етапу з використанням та без використання онтологій та значення відповідних функцій наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна таблиця методів з використанням та без використання онтологій

Етапи та функції	Назва етапів та функцій	Метод обробки за стандартом	Метод обробки після наповнення онтології	Метод обробки після наповнення онтології з урахуванням оцінки довіри до джерела інформації
1	К-сть альтернатив етапу «Розкриття»	3	15	12
2	К-сть альтернатив етапу «Зняття покриття»	4	26	16
3	К-сть альтернатив етапу «Знежирення»	5	32	22
4	К-сть альтернатив етапу «Грунтування»	4	45	31
5	К-сть альтернатив етапу «Покриття»	3	39	21
6	К-сть альтернатив етапу «Захист»	4	27	17
$\min V$	Вартість, у.о.	1200	920	950
$\max Q$	Час експлуатації, роки	20	42	42
$\min f = V/Q$		60	21,9	22,6

Нехай ІА володіє ресурсом 6 одиниць. Приклад можливих витрат та доходів (виграшів) у залежності від номера процесу та альтернативи наведені в табл. 2. Ці дані отримуються з відповідної онтології, використовуючи мову запитів SPARQL до неї.

Таблиця 2. Таблиця витрат та доходів

№ альтр.	Процес 1		Процес 2		Процес 3		Процес 4		Процес 5		Процес 6	
	Витр.	Дох.	Витр.	Дох.	Витр.	Дох.	Витр.	Дох.	Витр.	Дох.	Витр.	Дох.
a <sub>1</sub>	0	5	0	8	0	3	0	4	0	2	0	3
a <sub>2</sub>	1	7	1	9	1	4	1	7	1	3	1	7
a <sub>3</sub>	2	8	2	12	-	-	-	-	2	6	-	-



Використовуючи метод функціональних рівнянь, призначений для розв'язування задач динамічного програмування, отримаємо оптимальний шлях, який наведений на рис. 5.

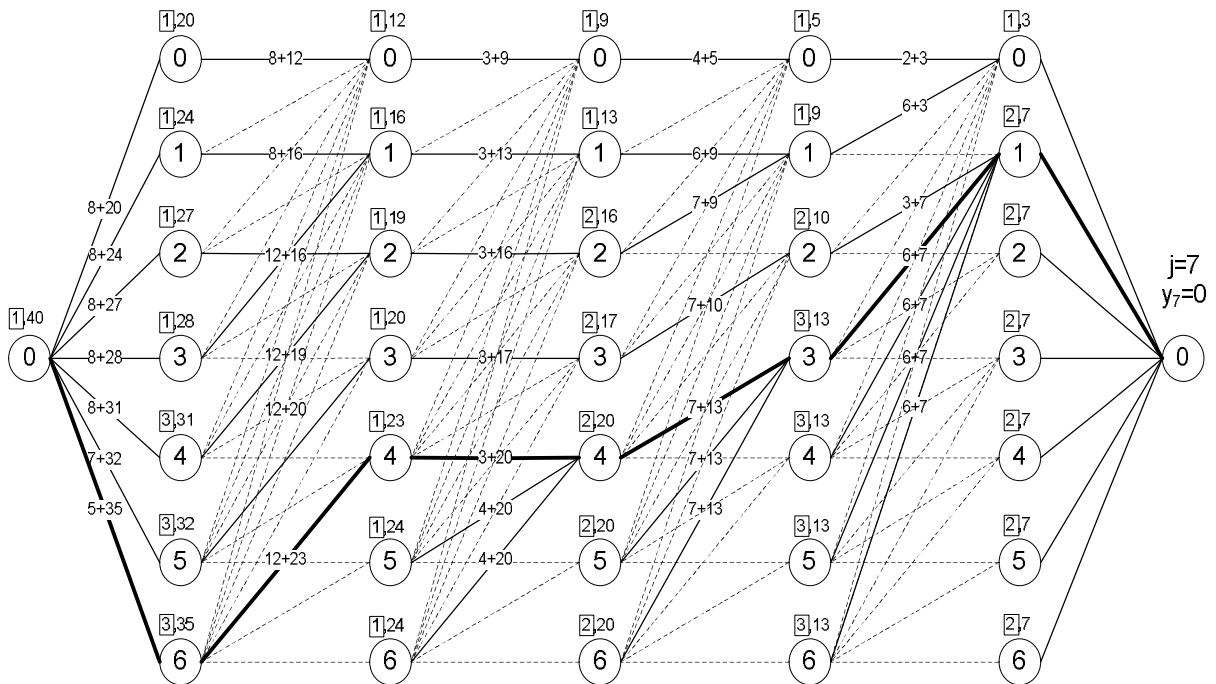


Рис. 5. Шлях пошуку розв'язку у просторі станів

У додатках наведено фрагменти програмних кодів, в яких реалізовано розроблені методи та алгоритми побудови спеціалізованих ІА, а також акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано важливе науково-прикладне завдання – побудови інтелектуальних агентів з використанням онтологічного підходу та підвищення ефективності таких систем, якого досягнуто завдяки застосуванню розробленого математичного та програмного забезпечення, що ґрунтується на використанні онтологій у цих системах, адаптацією онтологій до специфіки задач предметної області. Під час виконання роботи одержано такі результати.

1. Проаналізовано проблему функціонування інтелектуальних агентів планування дій. Обґрунтовано актуальність вирішення завдання підвищення ефективності цих систем завдяки використанню онтологій, що дало змогу виділити не вирішені раніше задачі з розроблення методів та засобів використання онтологій у складі інтелектуальних агентів планування дій.
2. Розроблено математичне забезпечення функціонування інтелектуальних агентів планування дій на основі онтологій, що дало змогу формалізувати поведінку таких агентів у просторі станів. Використання онтологій дає змогу звужувати простір пошуку шляху з початкового стану в стан мети, відкидаючи нерелевантні

альтернативи. Сама задача планування діяльності інтелектуального агента зводиться до задачі динамічного програмування, де функцією мети є композиція двох функцій, які задають конкурентні критерії. Тобто у результаті отримуємо двокритеріальну задачу. Для її розв'язування обрано метод головної компоненти, якщо цільові функції можна оцінити, або метод комплексного критерію, якщо ці функції оцінити неможливо.

3. Отримав подальший розвиток процес автоматизованої розбудови адаптивної онтології на основі використання програмної системи Link Grammar Parser, яка розбиває стверджувальне речення, написане граматично правильною англійською мовою, на семантично пов'язані між собою пари слів. Автоматична розбудова онтології реалізується засобами Java API Protege-OWL. Ці засоби містять бібліотеки класів, в яких реалізовано методи роботи з OWL-структурами: їх читання та доповнення. Таким чином, програмні засоби розбудови онтології функціонують у взаємодії з OWL-онтологією, беручи з неї шаблони граматично-семантичних структур для розпізнавання тверджень (предикатів дескриптивної логіки) у досліджуваних і/або навчальних текстах та, додаючи до неї нові елементи, в результаті такого розпізнавання.
4. Розроблено програмне забезпечення функціонування інтелектуальних агентів планування дій, яке ґрунтується на побудованих моделях, методах та алгоритмах, що дало можливість реалізувати окремі компоненти та функціональні модулі інтелектуальних агентів планування дій на основі онтологій, ядром баз знань яких є онтологія. Зокрема розроблено ІА в галузі діагностики та експлуатації виробів тривалої експлуатації, центральною компонентою якого є онтологія матеріалознавства. Діяльність такого агента надає задовільні розв'язки.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Vovnjanka R. Computer system for automated ontology building basic crocus / R. Vovnjanka, D. Maherovskyj, O. Oborska // Applied Computer Science : Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych. Politechnika Lubelska. – Poland, 2014. – Vol. 11, no 4. – P. 70-82.
2. Lytvyn V. Approach to decision support intelligent systems development based on ontologies / V. Lytvyn, O. Oborska, R. Vovnjanka // Econtechmod : Polish Academy of Sciences, Branch in Lublin. – Poland, 2015. – Vol. 4, no 4. – P. 29-35.
3. Литвин В. В. Метод використання онтологій в петлі OODA на прикладі функціонування вищих навчальних закладів / В. В. Литвин, Р. В. Вовнянка // Складні системи і процеси. – 2012. – № 2. – С. 38-43.
4. Литвин В. В. Метод моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі / В. В. Литвин, О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка // Математичні машини й системи : Науковий журнал Інституту проблем математичних машин і систем НАН України. – Київ, 2014. – №1. – С. 50-57.

5. Оборська О. В. Моделювання поведінки раціонального агента на основі стимулюючого навчання / О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка // Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська політехніка»». – Львів, 2014. – № 805. – С. 61-69.
6. Вовнянка Р. В. Метод видобування знань з текстових документів / Р. В. Вовнянка, Д. Г. Досин, В. В. Ковалевич // Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2014. – № 783. – С. 302-312.
7. Литвин В. В. Комп'ютерна система автоматизованої розбудови базової онтології CROCUS / В. В. Литвин, Р. В. Вовнянка, Д. Г. Досин // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – № 13. – С. 135-143.
8. Метод побудови інтелектуальних агентів на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, М. Я. Гопяк, О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка // Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2015. – № 829. – С. 186-200.
9. Моделювання поведінки інтелектуального агента на основі петлі OODA / В. В. Литвин, М. Я. Гопяк, Р. В. Вовнянка, О. В. Оборська // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології. Освіта». – Луцьк-Світязь, 2014. – С. 60-61.
10. Метод моделювання процесу підтримки прийняття рішень в конкурентному середовищі / В. В. Литвин, О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка, М. Я. Гопяк // Матеріали 2-ї міжнародної наукової конференції «Інформація, комунікація, суспільство» (ICS-2013). – Львів-Славське, 2013. – С. 202-203.
11. Метод підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі на основі петлі OODA / В. В. Литвин, М. Я. Гопяк, Р. В. Вовнянка, О. В. Оборська // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту». – Залізний Порт. – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 219-220.
12. Method development and quality evaluation of an ontology / Vasyl Lytvyn, Dmytro Dosyn, Roman Vovnjanka, Maria Hopyak, Oksana Oborska // XIIIth International Conference 'The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics'. – Polyana-Svalyava (Zakarpattia), 2015. – P. 113-115.
13. Оборська О. В. Розробка модуля імітаційного моделювання бойових дій для етапу „орієнтація” циклу OODA / О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка, М. Я. Гопяк // IV Міжнародна наукова конференція «Інформація, комунікація, суспільство» (ІКС-2015). – Львів-Славське, 2015. – С. 50-52.
14. Метод планування рішень у конкурентному середовищі на основі використання онтологій / В. В. Литвин, О. В. Оборська, М. Я. Гопяк, Р. В. Вовнянка // Десята міжнародна науково-практична конференція

«Математичне та імітаційне моделювання систем» (МОДС 2015). – Чернігів, 2015. – С. 460-465.

15. Литвин В. В. Моделювання процесу підтримки прийняття рішень в конкурентному середовищі на основі петлі OODA / В. В. Литвин, Р. В. Вовнянка, О. В. Оборська // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології. Освіта». – Луцьк-Світязь, 2013. – С. 31-32.

## АНОТАЦІЇ

**Вовнянка Р. В. Методи та засоби планування дій спеціалізованих інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2017.

У дисертації розв'язано важливе наукове завдання побудови інтелектуальних агентів планування дій, ядром баз знань яких є онтології. Розроблено метод функціонування інтелектуальних агентів планування дій з використанням онтологічного підходу та здійснено класифікацію таких систем з погляду їх функціонування на основі онтологій. Побудовано критерій раціональної поведінки інтелектуального агента на основі методів стимулюючого навчання, що, на відміну від інших підходів, дає змогу формалізувати процес функціонування інтелектуальних агентів планування дій, ядром бази знань яких є онтології. Використано методи стимулюючого навчання для задання критерію оптимальної поведінки такого агента. Одержав подальший розвиток метод автоматизованої розбудови онтологій предметної області для задач планування дій шляхом врахування міри довіри до джерела інформації, яке використовується для розбудови онтології, що дало змогу будувати простір станів, релевантний до бази знань спеціалізованої предметної області.

Розроблені методи та засоби дали можливість будувати ефективні інтелектуальні агенти планування дій у тих предметних областях, в яких знання чітко формалізуються за рахунок онтологій.

*Ключові слова:* інтелектуальний агент, онтологія, база знань, стимулююче навчання, міра довіри.

**Вовнянка Р. В. Методы и средства планирования действий специализированных интеллектуальных агентов на основе онтологического подхода.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.03 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем. – Национальный университет «Львовська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2017.

В диссертации решено важное научное задание построения интеллектуальных агентов планирования действий, ядром баз знаний которых являются онтологии. Разработан метод функционирования интеллектуальных агентов планирования действий с использованием онтологического подхода, осуществлена классификация таких систем с точки зрения их функционирования на основе онтологий. Построено критерий рационального поведения интеллектуального агента на основе методов стимулирующего обучения, что, в отличие от других подходов, позволяет формализовать процесс функционирования интеллектуальных агентов планирования действий, ядром базы знаний которых являются онтологии. Использованы методы стимулирующего обучения для задания критерия оптимального поведения такого агента. Получил дальнейшее развитие метод автоматизированного развития онтологий предметной области для задач планирования действий путем учета степени доверия к источнику информации, которое используется для развития онтологии, что позволило строить пространство состояний, релевантный к базе знаний специализированной предметной области. Разработанные методы и средства позволили строить эффективные интеллектуальные агенты планирования действий в тех предметных областях, в которых знания четко формализуются за счет онтологий.

Ключевые слова: интеллектуальный агент, онтология, база знаний, стимулирующее обучение, степень доверия.

**Vovnjanka R. Methods and tools for planning specialized intelligent agents based on ontological approach.** – On the rights manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 01.05.03 – mathematical and software of computers and systems. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

There is analyzed the problem of operation of intelligent agents planning. There is justified actuality of the task of improving the efficiency of these systems through the using of ontologies, which helped to identify previously unsolved problems with the development of methods and means of using ontologies as a part of the intelligent agents planning.

There is worked out mathematical providing of functioning of intelligent agents planning based on ontology, which allowed to formalize the behavior of such agents in the space of states. Using of ontologies allows to specialize the space of searching the way from the initial state to the target state, discarding irrelevant alternatives. The very task of planning of intelligent agent functioning is reduced to the problem of dynamic programming, where the function of purpose is a composition of two functions that define the competitive criteria. That means that as a result the two-criteria task is received. For its solution the method of main component was chosen, if the target functions can be evaluated, or the method of complex criteria if these functions cannot be evaluated.

There is received the further development of the process of automated building of adaptive ontology based on using of the program system Link Grammar Parser, which

divides the affirmative sentence written grammatically correct in English to semantically linked pairs of words. Automatic ontology building is implemented by the means of Java API Protege-OWL. These means contain the libraries of classes, where the methods of working with OWL-structures are implemented: their reading and additions. Thus, the program means of the development of ontology operate in conjunction with OWL-ontology, taking from it the templates of grammatically-semantic structures for the recognizing of statements (predicates of descriptive logic) in the investigated and / or educational texts and adding to it the new elements as the result of such recognizing .

There is worked out the software of the operation of intelligent agents planning, basing on the built models, methods and algorithms, that made it possible to implement the individual components and functional modules of the intelligent agents planning based on ontologies, the core of knowledge base of which is ontology. Besides, there is worked out the IA in the field of diagnostics and operating products of long operation, a central component of which is ontology of the Materials-knowing. The functioning of such an agent provides satisfactory solutions.

Keywords: intelligent agent, ontology, knowledge base, stimulate learning, a measure of confidence.

Здано у видавництво 01.03.2017 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк цифровий  
Умон. друк. арк.0,9.  
Наклад 120 прим.

Надруковано ТзОВ «Графік Стар»  
м. Львів вул. В. Великого, 2  
email: [soroka@soroka.lviv.ua](mailto:soroka@soroka.lviv.ua)  
тел. 244 28 37