

УДК 004.853+004.832+51.001.57

# МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ В ТУРИСТИЧНІЙ СФЕРІ З ВИКОРИСТАННЯМ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

**В.В. Литвин**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра інформаційних систем та мереж  
Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Ст. Бандери 12, м. Львів, Україна, 79013  
Контактний тел.: 067-777-95-46  
E-mail: vasyll@ukr.net

**Д.І. Угрин**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра автоматизованих систем управління  
Буковинський університет  
вул. Дарвіна, 2А, м. Чернівці, Україна, 58000  
Контактний тел.: 050-989-15-46  
E-mail: ugrind@mail.ru

*Досліджено діяльність інтелектуальних агентів в туристичній сфері, ядром баз знань яких є онтології. Побудовано математичну модель функціонування таких агентів, мета діяльності яких полягає в досягненні цільового стану. Модель функціонування інтелектуальних агентів зводиться до задачі динамічного програмування*

*Ключові слова: інтелектуальний агент, туристична сфера, онтологія*

*Исследована деятельность интеллектуальных агентов в туристической сфере, ядром баз знаний которых является онтология. Построена математическая модель функционирования таких агентов, цель деятельности которых заключается в достижении целевого состояния. Модель функционирования интеллектуальных агентов сводится к задаче динамического программирования*

*Ключевые слова: интеллектуальный агент, туристическая сфера, онтология*

*Investigational activity of intellectual agents in a tourist sphere, the kernel of bases of knowledges of which is ontology. The mathematical model of functioning of such agents is built, the purpose of activity of which consists in achievement of the having a special purpose state. The model of functioning of intellectual agents is taken to the task of the dynamic programming*

*Keywords: intellectual agent, tourist sphere, ontology*

## 1. Вступ

Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР), базовані на онтологіях, показали на практиці свою ефективність [1]. У роботі [2] нами розглянуто класи таких систем. Одним із таких класів є системи планування діяльності інтелектуальних агентів (ІА). До цього класу ІСППР відносяться системи, які використовуються для розв'язування задач, що виникають в туристичній сфері, а саме задачі планування ведення бізнесу у цій сфері. Для розв'язування будь-якої задачі планування потрібно інтелектуальну систему [3]. У свою чергу будь-яка інтелектуальна система містить базу знань. Нами пропонується в якості ядра бази знань для наших задач використовувати онтологію туристичної галузі і все, що з цією галуззю пов'язане.

Вважаємо, що деякий інтелектуальний агент (ІА) бажає зайнятись бізнесом в туристичній сфері. Отже ІА перебуває в стані  $St(0)$ , і в нього наявний деякий

матеріальний ресурс  $G$ . Перед ІА стоїть задача перейти у деякий цільовий стан  $Goal$ , використовуючи ресурс  $G$ . Якщо він досягнув цього стану, то в майбутньому він може ставити нові задачі переходу в новий цільовий стан, вважаючи стан  $Goal$  початковим. А наразі обмежимося задачею переходу зі стану  $St(0)$  в стан  $Goal$ . Стан  $Goal$  може полягати в отриманні певного прибутку від своєї діяльності, модернізації туристичного комплексу або побудови нових об'єктів спрямованих на бізнес в туристичній сфері (готелі, котеджі тощо). Очевидно, що такий перехід можна здійснити, використовуючи ресурс  $G$  та знання про предметну область. Такі знання будемо зберігати в онтології  $O$ . Отже формально нашу задачу  $P$  запишемо у вигляді:

$$P: St(0) \xrightarrow{G,O} Goal. \quad (1)$$

Розглянемо спочатку задачу (1) для загальних випадків, а потім адаптуємо до туристичної сфери.

Задача моделювання плану поведінки інтелектуального агента, ціль якого полягає у досягненні кінцевого стану, є актуальною задачею сьогодення, оскільки саме від правильно побудованих моделей залежать кількісні показники, отримані під час досягнення цілі (затрачені ресурси, витрачений час для досягнення цілі, оцінка досягнутого стану тощо). Відомо, що для моделювання такого плану знаходження оптимального рішення використовуються стохастичні або детерміновані мережі з вершинами типу І/АБО і методи пошуку вглиб, вишир та різноманітними евристичними функціями [4]. Однак ці моделі можна використовувати для задач в яких стани чітко задаються множиною фактів, які реалізуються однією з формальних логік або набором продукційних правил та не враховують витрати ресурсів. Очевидно, що у складних прикладних областях опис станів та вибір альтернатив для відповідей переходів між станами вимагає зовсім інших підходів, а отже і моделей, які базуються на онтологіях задач та онтології предметної області.

З огляду на постановку задачі – досягнення цільового стану інтелектуальним агентом – для розв'язування цієї задачі нами пропонується використовувати мережі Петрі [5] для моделювання шляхів (процесів) досягнення цільового стану, байєсівські мережі для моделювання імовірнісних оцінок переходів між станами, онтологію предметної області для опису та оцінки станів, а також для оцінки витрат ресурсів для переходів між станами.

Отже необхідно розробити модель функціонування інтелектуального агента, поведінка якого полягає у досягненні деякого цільового стану як правило з додатковою вимогою, яка полягає в мінімізації витрат ресурсів ІА під час такого переходу.

## 2. Основні припущення та поняття

Для досягнення цільового стану інтелектуальний агент (ІА) насамперед повинен побудувати план досягнення цього стану із всіма можливими альтернативами. Процес планування ґрунтується на декомпозиції. Задача планування ZP містить 3 складові: множину станів  $St$ , множину дій  $A$ , множину цільових станів  $Goal$  (станів мети); тобто

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

В подальшому будемо вважати, що стан мети єдиний. Якщо станів мети кілька, то мету можна записати як диз'юнкцію цих станів. Тоді досягнення такого стану є розв'язок деякої підзадачі, тому припущення про єдність стану мети є нормальним.

У свою чергу дія  $A$  складається із 4-ох частин: ім'я дії, список параметрів, передумова та результат. А сам план визначається як кортеж з 4-ох елементів – <Множина дій, Множина обмежень впорядкування, Множина причинних зв'язків, Множина відкритих передумов> [4]. Для врахування декомпозиції, і/або залежностей між станами та переходами, відображення альтернатив досягнення цільових станів пропонуємо використовувати мережі Петрі. Приклад такої мережі з цільовим станом  $Goal$  наведено на рис. 1.

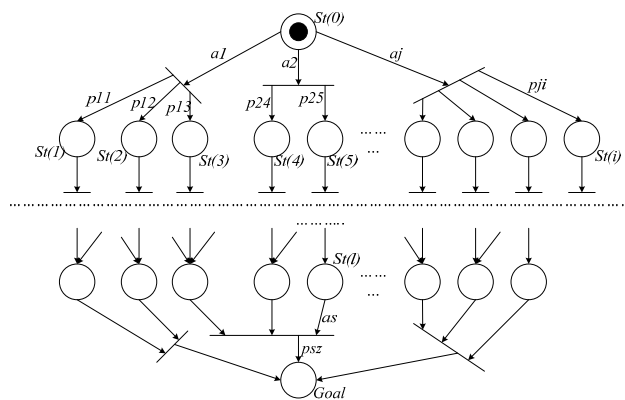


Рис. 1. Приклад мережі Петрі моделювання поведінки інтелектуального агента

На початку фішка мережі знаходиться у стані  $St(0)$ . Тоді очевидно, що суть функціонування ІА полягає у переміщенні фішки в кінцевий стан  $Goal$  з мінімальною витратою ресурсів (ресурси можуть задаватися у формі грошового еквівалента, людино-годин, часу тощо). Щоб почати розв'язувати цю задачу спочатку треба довести, що мережа Петрі побудована так, що кінцевий стан  $Goal$  досягнути насправді можна. Відомо, що для такого доведення використовуються планувальники – програми, які шукають розв'язок або доводять не існування розв'язку. Ця робота оминає розгляд такого доведення. Апосторно вважаємо, що такий перехід існує і не один, бо інакше задача немає змісту.

Стан  $St(i)$  характеризується базою даних та базою знань (сховищем даних) поданих у вигляді множини фактів. Детальніше це розглянемо нижче.

Дія  $a_{ij}$  подається у вигляді відображення зі стану  $St(i)$  в стан  $St(j)$  з відповідною ймовірністю  $p_{ij}$ , тобто:  $St(i) \rightarrow St(j)$  з ймовірністю  $p_{ij}$ . На рис. 1 для завдання дій використано один індекс, що вказує на вихідний стан.

## 3. Оцінка станів ознакових задач

Для вибору необхідних дій ІА повинен вміти оцінювати стани. Легше це здійснити зі станами в яких він вже перебував. Важче оцінити майбутні стани. Для цього використовуються евристичні функції або мета знання.

Тому спочатку розглянемо оцінку пройдених станів, потім дій, і насамкінець їх комбінацію, що веде до нового (майбутнього) стану.

Нехай  $v(St(i))$  – оцінка стану  $St(i)$ . Для оцінки станів, в яких вже перебував ІА, використовуватимемо адаптивну онтологію предметної області  $O$ .

Стан мети  $Goal$  визначається необхідністю деякій множині ознак  $X$  досягнути певних значень  $z(x, Goal)$   $\forall x \in X$ .

Будь-який стан  $St(i)$  задається своєю множиною ознак  $Y_i$ , які набувають значень  $z(y, St(i))$   $\forall y \in Y_i$ .

Для оцінки стану  $St(i)$  необхідно здійснити відображення  $\psi$  множини ознак та їх значень стану  $St(i)$  в множину ознак та значень стану  $Goal$ . Очевидно, що таке відображення мусить використати онтологію, тобто

$$\psi: Y_i \xrightarrow{O} X \quad (3)$$

Тоді оцінка стану  $v(St(i))$  обчислюється

$$v(St(i)) = d(St(i), Goal) = \sum_{x \in X} w_x \cdot \varphi(z(x, St(i)), z(x, Goal)), \quad (4)$$

де  $w_x$  – важливість ознаки  $x$ , бінарна функція  $\varphi(x, y)$  задається формулою:

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} 1 - \mu_x(y), & x - \text{нечітка множина,} \\ \lambda \cdot |x - y|, & x, y - \text{числові значення,} \\ 1 - \mu(x, y), & x, y - \text{нечіслові значення.} \end{cases} \quad (5)$$

де  $\mu_x(y)$  – коефіцієнт впевненості того, що  $y$  належить нечіткій множині  $x$ ,  $\lambda$  – числова величина, яка залежить від ПО, щоб  $\lambda \cdot |x - y| \in [0, 1]$ ,  $\mu(x, y) \in [0, 1]$  – нечітка величина подібності значень  $x$  та  $y$ .

Очевидно, що чим оцінка стану менша, тим стан кращий.

Важливість ознак  $w_x$  визначається на основі онтології предметної області та онтології задачі. Очевидно, що в залежності від задачі важливість ознак різна. Онтологія, яка в собі містить вагу важливості понять називається адаптивною [6].

#### 4. Оцінка дій ознакових задач

У наших дослідженнях для вибору дій ІА ми спиратимось на раціональність агента як прагнення мінімізувати витрати ресурсів для досягнення кінцевого стану. Тому вважатимемо, що кожна дія  $a_{ij}$  однозначно визначається витратами ресурсів  $g_{ij}^k$  (ціна переходу зі стану в стан), де  $k=1, 2, \dots, n_i$ .  $n_i$  – кількість альтернатив  $\alpha_k$  для здійснення переходу  $a_{ij}$ . Тому надалі дію позначатимемо трьома індексами  $a_{ij}^k$ : перехід із стану  $St(i)$  в стан  $St(j)$ , використовуючи альтернативу  $\alpha_k$ . Наприклад для зняття захисного покриття з поверхні трубопроводу можна використати 3 альтернативи: механічне, хімічне та термічне зняття.

Кожна з альтернатив характеризується витратами ресурсів та терміном експлуатування. Інформація про альтернативи та витрати ресурсів повинна зберігатися в онтології. Інформація про значення ознак та виграш від переходу в стан (терміни експлуатування тощо) зберігається в БД. Очевидно, що можуть появлятися нові альтернативи, тому інтелектуальному агенту необхідно постійно відстежувати наукові видання з метою їх пошуку та заносити в онтологію. Задачу автоматичного поповнення онтології на основі аналізу наукових текстів описано в наступному розділі.

Оскільки, чим оцінка менша, то тим краще, то оцінка дії прямопропорційна витраті ресурсів, тобто:

$$v(a_{ij}^k) = E \cdot g_{ij}^k, \quad (6)$$

де  $E$  – скалярна величина, яка зводить вимір оцінки дії до одного виміру з оцінкою станів.

Загалом рішення стосовно вибору дії на основі альтернативи здійснюємо згідно формули:

$$o(a_{ij}^k) = \omega v(a_{ij}^k) + (1 - \omega) v(St(j)), \quad (7)$$

де  $\omega \in [0, 1]$  – частка альтернативи, яку ІА віддає в процесі прийняття рішення, інша частка належить стану в який він перейде.

Після оцінки дій та станів, задача вибору шляху зводиться до задачі асинхронного динамічного програмування [7]. Використовуючи методи придатні для розв'язування таких задач, знаходимо розв'язок у вигляді шляху переходу з початкового у кінцевий стан.

Опишемо процес розроблення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) в туристичній галузі, який базуватиметься на вище побудованій математичній моделі. Процес розроблення системи почнемо з побудови діаграми варіантів використання [8]. Відповідна діаграма наведена на рис. 2.

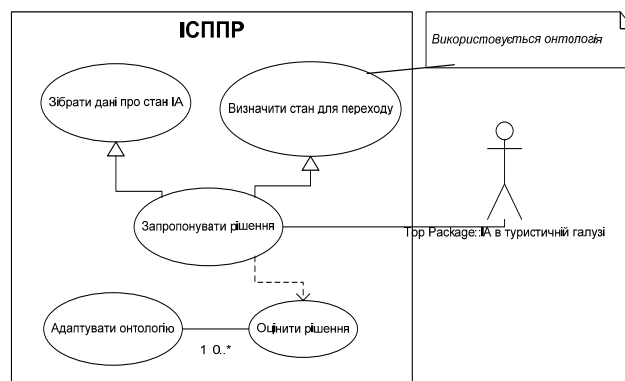


Рис. 2. Діаграма варіантів використання діяльності ІА в туристичній сфері

Розглянемо випадок, коли ІА володіє деяким туристичним комплексом в занедбаному стані. Необхідно здійснити його ремонт з метою його експлуатації на певний період часу. Очевидно, що така експлуатація дає прибуток його власникові, а отже, ІА отримує від цього виграш. Очевидно, що тоді метою ІА є модернізація цього комплексу на якомога довгий період з найменшими на це затратами. Крім того, існує межа  $\Omega$  (обмеження на ресурс), який ІА готовий вкласти у модернізацію такого комплексу. Якщо ресурс на модернізацію перевищує величину  $\Omega$ , то можливо вигідніше побудувати новий туристичний комплекс.

Нехай туристичний комплекс  $U$  перебуває у деякому стані, назвемо його початковим станом або поточною ситуацією. Модернізація усього туристичного комплексу  $U$  передбачає модернізацію його складових  $U_1, U_2, \dots, U_m$ . Ієрархія складових туристичного комплексу та їх опис (призначення) міститься у відповідній онтології, використовуючи зв'язки IS-A, PART-OF, CONSIST-OF та ін. Загальну задачу (модернізація туристичного комплексу в цілому) позначимо  $P$ . Вважатимемо, що модернізація кожної складової  $U_i$  є окремою задачею  $P_i$ , тому загальну задачу модернізації всього туристичного комплексу схематично зображатимемо окремими процесами, які можуть бути як паралельними, так і послідовними (див. рис. 3). Так задача модернізації готельного комплексу розбивається на ряд підзадач: модернізація будівлі, модернізація прилеглої території, модернізація подвір'я тощо. Кожна, відповідно, поділяється на підзадачі і т.д., тим самим ми отримуємо ієрархію підзадач, тобто декомпозицію загальної задачі.

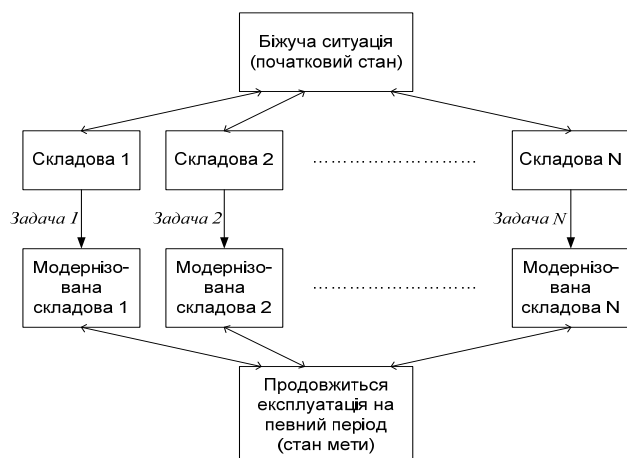


Рис. 3. Декомпозиція загальної задачі

Якщо  $U'$  – туристичний комплекс після модернізації, то загальна задача набуде такого вигляду:  $P: U \rightarrow U'$ , а окрема підзадача:  $P_i: U_i \rightarrow U'_i$ .

Розглянемо окрему підзадачу  $P_i$  детальніше. Для переходу із біжучого стану складової  $U_i$  в новий модернізований стан  $U'_i$  власник може використати одну із  $N_i$  альтернатив  $\alpha_{ij}$ , де  $j \in \{1, 2, \dots, N_i\}$  (див. рис. 4).

Використання альтернативи  $\alpha_{ij}$  для розв'язування задачі  $P_i$  визначається витратами ресурсів  $g_{ij}$ , які необхідно затратити на модернізацію  $i$ -ї складової  $U_i$  та періодом експлуатації  $r_{ij}$  модернізованої складової  $U'_i$ . Отримати ці оцінки можна з онтології ПО задалегідь здійснивши інтелектуальне опрацювання природномовних текстів з відповідної тематики. Таке інтелектуальне опрацювання є складною задачею і потребує окремих робіт з опису методів її розв'язування, тому в цій роботі ця задача не розглядається. Лише зазначимо, що деякі методи та підходи до її розв'язання описані нами в роботах [1, 9].

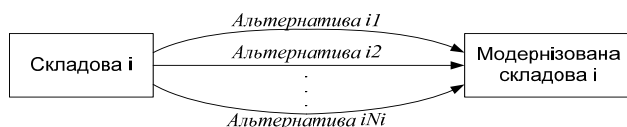


Рис. 4. Вигляд задачі модернізації окремої складової

Нехай для модернізації  $i$ -ї складової  $U_i$  ми використали альтернативу  $\alpha_{ik}$ . Тоді загальні витрати для модернізації усього устаткування обчислюються як сума відповідних витрат для модернізації кожної складової. Загальні витрати позначимо  $g$ , а окремих складових з відповідними індексами. Тоді

$$g = \sum_{i=1}^N g_{ik} \quad (8)$$

А гарантований період експлуатації модернізованого устаткування  $U'$  буде становити

$$r = \min_i r_{ik} \quad (9)$$

За критерій вибору альтернатив візьмемо припущення, що необхідно туристичний комплекс модернізувати на якомога довший період з найменшими на це затратами, саме в цьому аспекті вважатимемо

суть раціональної поведінки агента-власника туристичного комплексу. Якщо у системі координат зобразити період та ресурси, необхідні на модернізацію, то критерій задовольняється, коли кут  $\varphi$  найменший (див. рис. 5). На цьому рисунку крапками зображено місце альтернатив у системі координат (період-ресурс).

Оскільки  $\varphi = \arctg \frac{g}{r}$  і функція  $\arctg(x)$  є монотонно зростаючою у першій чверті, то функція мети матиме такий вигляд:

$$f = \frac{g}{r} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Додаючи обмеження  $g \leq \Omega$ , отримаємо таку модель задачі функціонування ІА:

$$\begin{cases} f = \frac{g}{r} \rightarrow \min \\ g \leq \Omega \end{cases} \quad (11)$$

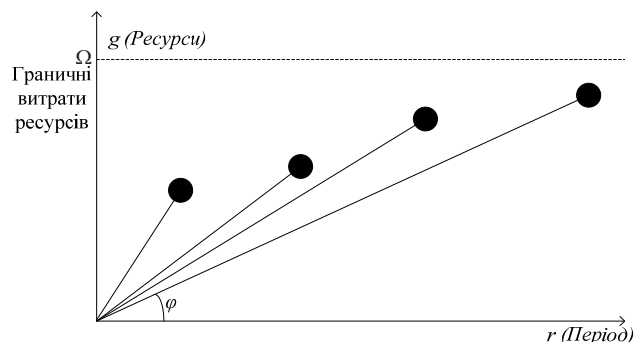


Рис. 5. Оцінка альтернатив

Очевидно, що існують складові, для яких період експлуатації після модернізації нескінченний. Такі складові без зайвих обмежень вкладаються у модель задачі (11). Однак реальна модель задачі є складнішою, ніж (11), оскільки різні складові мають різний вплив на успішне функціонування туристичного комплексу (залежно від їх важливості). Так модернізація житлової будівлі готельного комплексу є важливішою, ніж модернізація подвір'я цього комплексу. Тріщина у фундаменті веде до непридатності будівлі загалом, в той час як обвал стелі в окремому номері готелю веде до непридатності функціонування лише цього номера. Тому ми вважаємо за доцільне поділити всі підзадачі модернізації на три великі групи згідно з важливістю впливу складових, що модернізуються. На наш погляд, існують такі впливи:

- 1) значний вплив складової (вихід з ладу такої складової веде до непрацездатності туристичного комплексу в цілому);
- 2) одна складова має значний вплив на працездатність іншої складової;
- 3) незначний вплив складової на туристичний комплекс.

Всі ці впливи відображаються у відповідній онтології туристичного комплексу, де задається ієрархія складових та їх визначення. На основі ієрархії скла-

дових будуємо SWRL правила відносно впливу та важливості складових [10]. Виходячи з такого поділу, ми пропонуємо враховувати складові третьої групи у формулі (9), однак не враховувати їх у (10), оскільки ми завжди зможемо повторно модернізувати цю складову.

Щоб різниця між періодами для різних складових не була великою, пропонуємо вибирати ту складову із значним впливом, для якої здійснюється модернізація на найменший період. Інші рішення відносно вибору альтернатив здійснюємо відносно цього періоду.

Для кожної  $i$ -ї складової будуємо  $N_i$  SWRL правил щодо модернізації складової, де на виході правил маємо кількість ресурсів, необхідних на модернізацію, та період експлуатації після використання відповідної альтернативи. Правила отримуємо на основі аналізу природномовних текстів з використанням відповідної онтології [2].

Розв'язуємо задачу (8-9-11) методом динамічного програмування [7]. Знаходимо період, на який можемо здійснити модернізацію:  $g = \min_i \max_j g_{ij}$  для складових 1-го та 2-го типу.

Задача динамічного програмування матиме такий вигляд: мінімізувати витрату ресурсів на модернізацію устаткування з обмеженням на період та на ресурси:

$$\begin{aligned} g &= \sum_{i=1}^N g_{ik} \rightarrow \min, \\ g_{ik} &\geq g, \\ g &\leq \Omega. \end{aligned} \quad (12)$$

Якщо задача (12) розв'язків не має, то зменшуємо період  $g$  на деяку дискретну величину  $\delta$ :  $g = g - \delta$  і повертаємося до задачі (12) і т.д., поки не отримаємо її розв'язок.

### Висновок

У роботі розглянуто функціонування інтелектуального агента в туристичній сфері, який планує свою діяльність. Інтелектуальність агента полягає в раціональності його дій, а саме досягнення ним стану мети з найменшими затратами ресурсів. Для розв'язування цієї задачі пропонується використовувати інтелектуальну систему підтримки прийняття рішення, ядром бази знань якої є онтологія предметної області та онтологія задачі. Розроблено модель функціонування такої системи. Використовуючи деякі припущення, ця модель зводиться до задачі динамічного програмування.

### Література

1. Інтелектуальні системи, базовані на онтологіях // Д.Г.Досин, В.В.Литвин, Ю.В.Нікольський, В.В.Пасічник – Львів: „Цивілізація”, 2009. – 414с.
2. Литвин В.В. Проектування інтелектуальних агентів прийняття рішень в просторі ознак з використанням онтологічного підходу / В.В.Литвин, Р.Р.Даревич, Д.Г.Досин, Н.В.Шкутяк // Штучний інтелект. – Донецьк, 2010. – №3. – С. 254-262.
3. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотерман. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
4. Рассел С. Искусственный интеллект / С. Рассел, П. Норвиг. – М., С.-П., К.: Вильямс, 2006. – 1408с.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 265с.
6. Литвин В.В. Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології / В.В.Литвин // Радіоелектроніка, Інформатика, Управління. – Запоріжжя, 2009. – №2(21). – С. 120-126.
7. Скобелев В. Г. Локальные алгоритмы на графах / В.Г.Скобелев. – ИПММ НАН Украины. – Донецк. – 2003. – 217 с.
8. Фаулер М. UML в кратком изложении / М. Фаулер, К. Скотт. – М.: Мир. – 1999, 340с.
9. Даревич Р.Р. Розробка семантичного текстового аналізатора на основі LINK PARCER засобами CLIPS та C++ для автоматичної побудови бази знань / Р.Р.Даревич, Д.Г.Досин, В.В.Литвин // Системний аналіз та інформаційні технології: Тези доповідей учасників VI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (1 - 3 липня 2004 р., Київ) / – К.: НТУУ „КПІ”, 2004. – С. 220-221 с.
10. Досин Д.Г. Моделювання поведінки інтелектуального агента на основі онтологічного підходу / Д.Г.Досин, В.В.Литвин, Н.В.Шкутяк // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 31(107). – С. 112-117.