

© 2009 р. Я.І. Вихлюк, Н.М. Іванущак\*

Національний університет «Львівська політехніка»  
\*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

## ЗАСТОСУВАННЯ СЕМАНТИЧНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ СПІНОВИХ МОДЕЛЕЙ ІЗІНГА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Розроблено модель семантичної мережі, побудовану на основі спінових систем Ізінга, яка дозволяє здійснити оптимальний за вартістю вибір послуг туристичного бізнесу.

The model of semantic network based on the spin Ising systems, providing cost-efficient choice of tourist business service range, has been developed.

### Вступ

Ефективне функціонування туристичного підприємства в сучасних умовах передбачає адекватне реагування на зміни ситуації на ринку. Цим і зумовлена необхідність створення системи управління якістю послуг на туристичній фірмі, основною метою якої є виявлення вимог споживачів та оцінка ступеня відповідності якості туристичного продукту цим вимогам.

Комп'ютерне моделювання систем надання послуг дозволяє більш ефективно використовувати наявний кадровий, матеріально-технічний, інформаційний та фінансовий потенціал туристичної фірми.

Специфіку окремих видів послуг визначає характер учасників ринку послуг і порядок їх взаємодії, технологія надання послуг та їх приroda і мета.

### Необхідність моделювання механізму надання послуг

Реальні соціально-економічні системи, до яких належать, зокрема, туристичні є досить складними. Вони поєднують в собі різноманітні виробничі та економічні комплекси, адміністративні, транспортні, торгові та інші організації. До того ж, всі ці об'єкти можуть бути розміщені в різних природних, еколого-економічних та соціальних середовищах. Взаємозв'язки між об'єктами, як правило, не вдається адекватно описати на мові математики, а якщо це стає можливим – то модель системи є надзвичайно складною і громіздкою. Дослідити таку модель формалізованими математичними методами часто не вдається. В зв'язку з цим та

деякими іншими причинами для організації, функціонування та керування складними туристичними системами використовуються методи імітаційного моделювання, які базуються на проведенні машинних експериментів з моделями систем.

На сьогодні існують два базових підходи до побудови систем підтримки прийняття рішень: логічний, що базується на застосуванні механізмів немонотонного виведення на основі ситуаційно-залежного аксіоматичного набору правил, і мережевий, пов'язаний з формуванням різного типу мережевих структур, який описує відношення між об'єктами і поняттями предметної області.

Механізм надання та реалізації послуг потребує глибокої аналітичної обробки, пов'язаної з впровадженням новітніх моделей представлення знань.

На певному етапі представлення знань шляхом застосування будь-якого підходу формується віртуальна або реальна мережа взаємозв'язків між об'єктами і поняттями, окремі ділянки якої активізуються при формуванні рішень на основі вхідних даних.

Серед різноманітних форм мережевих описів для представлення знань і формування рішень найперспективнішими являються активні семантичні мережі. До них в першу чергу слід віднести системи з нейроподібними елементами, вузли яких змінюють свій стан під дією процесів, що відбуваються на сусідніх вузлах. Виходячи з основних концепцій побудови активних семантичних мереж в даній роботі пропонується інший підхід до визначення структури

ри і механізмів функціонування об'єктів мережі на основі спінової моделі Ізінга.

Метою даної роботи являється побудова семантичних мереж, функціонування яких описується спіновою системою Ізінга, для визначення оптимального набору туристичних послуг та їх оптимальної вартості.

### **Модель Ізінга – математична модель статистичної фізики**

Системи Ізінга – це клас моделей, які введено початково для фізичних досліджень магнітних матеріалів [1]. Кожній вершині кристалічної ґратки відповідає число, що називається спіном, рівне +1 або -1 («поле вверх»/«поле вниз») і визначається магнітним моментом атома. Кожному можливому варіанту розміщення спінів приписується енергія попарної взаємодії спінів сусідніх вузлів ґратки, тоді повна енергія системи:

$$E(S) = -\frac{J}{2} \sum_{\langle i, j \rangle} S_i S_j, \quad (1)$$

$S_i$  – спін вузла у вершині «і»,  $S_i = \begin{cases} +1, \text{вверх} \\ -1, \text{вниз} \end{cases}$ ,

$J$  – енергія обмінної взаємодії,  $\langle i, j \rangle$  позначає сумування по парах найближчих сусідів.

Паралельно ( $\uparrow\uparrow$ ) розміщуватися спінам «вигідно», цьому відповідає енергія  $-J$ ,  $J > 0$ . Антипаралельні спіни ( $\uparrow\downarrow$ ) енергетично не вигідні – на утворення кожної такої пари потрібна додатна енергія  $+J$ .

Зв'язок між двома спінами можна представити у вигляді пружини [2], яка при паралельних спінах знаходиться у нормальному стані і розтягнута, коли спіни є антипаралельними. Кожна розтягнута пружина несе одну одиницю енергії.

Так як  $S_i$  може приймати 2 значення, у системі з  $n$  спінів є  $2^n$  різних конфігурацій.

Для феромагнетика константа обмінної взаємодії  $J > 0$  і енергія є мінімальною для спінів, напрямлених в один бік. Система вироджена, так як одній енергії відповідає декілька різних конфігурацій спінів. Ентропія системи  $S(E)$  росте зі збільшенням степеня виродження станів з енергією  $E$ , вона мінімальна у впорядкованому стані і швидко зростає з ростом енергії.

### **Моделювання взаємовідношень між об'єктами семантичних мереж з використанням математичної моделі Ізінга**

В даній роботі замість нейроподібного механізму при визначенні процесу функціонування вузлів мережі використовується спінова модель Ізінга [1], в якій вузол  $A_i$  мережі розглядається як клітинний автомат, а його стан характеризується величиною спіна. Іншою характеристикою вузла є енергія взаємодії з сусідніми вузлами мережі, значення якої залежить від взаємного розміщення спінів та типу зв'язків між вузлами. Величина максимальної енергії зв'язку враховує значення загального енергетичного ресурсу системи при кожній конкретній зміні стану вузла.

Спін вузла характеризує напрям зміни стану об'єкта, процесу або фактора досліджуваної моделі. Для деяких досліджуваних факторів і станів величина спіна може бути визначена в процесі спостереження за поведінкою системи і може бути об'єктивно оцінена. Для інших факторів, об'єктів і процесів величина зміни стану визначається на основі описів виду  $\{A_i | A_i \xleftarrow{k} A_j\}$ , де  $k$  – коефіцієнт, який характеризує ступінь впливу фактору  $A_j$  або ситуації  $S$  на стан  $A_i$ , тобто величина  $A_i$  є функцією множини факторів і ситуацій моделі.

Як приклад розглянемо побудову мережевої структури для опису механізму надання послуг туристичним комплексом, в якій збережемо певні терміни і поняття, взяті з фізичного контексту, що викликають змістовні асоціації.

На сьогоднішній день туристичні фірми надають широкий спектр послуг. Для ефективного ведення туристичного бізнесу необхідно враховувати взаємозв'язки між послугами, що надаються, та фактори ефективності їх функціонування. Важливу роль у цьому процесі відіграє моделювання поведінки людини, яке можна здійснити використовуючи семантичні мережі, що функціонують на основі спінових систем Ізінга [3].

Автори статті не претендують на те, щоб охопити роботу усіх сегментів туристичного ринку, а виділяють тільки ту її частину, в якій надаються послуги за рівнем доходів на прикладі туристичної бази із зимовими видами відпочинку. Хоча це не є єдиною областю застосування запропонованих досліджень [4].

Кожному вузлу мережі ставиться у відповідність певна послуга, що надається споживачу.

Функціонування вузлів здійснюється згідно з наступними правилами:

1. Стан кожного вузла мережі  $A_i$  характеризується величиною спіна  $s(A_i)$ , який приймає значення ( $\uparrow$ ,  $\downarrow$ ) і має наступний зміст:

- $\uparrow$  - користувачу надана послуга;
- $\downarrow$  - користувачу не надана послуга.

2. Взаємодія між вузлами вимірюється енергією взаємодії  $E(A_i)$ , яка кількісно дорівнює величині  $E_{\max} > 0$  і визначає вартість послуги, що надається користувачу.

3. Значення енергії взаємодії залежить від взаємного розміщення спінів і типу зв'язку між вузлами.

Розглядають два типи зв'язків:

- *конкурентні* (-), які характеризуються енергією зв'язку  $E(A_i) = E_{\max}$  при  $s(A_i)\uparrow s(A_j)\downarrow$  і нульовою енергією зв'язку  $E(A_i) = 0$  при  $s(A_i)\uparrow\uparrow s(A_j)$ ;

- *партнерські* (+), які характеризуються енергією зв'язку  $E(A_i) = E_{\max}$  при  $s(A_i)\uparrow\uparrow s(A_j)$  і нульовою енергією  $E(A_i) = 0$  при  $s(A_i)\uparrow\downarrow s(A_j)$ .

На рис.1 зображений простий приклад надання послуг споживачу туристичного продукту. Вузли мережі визначають види послуг, які туристичний комплекс може запропонувати відвідувачу. Тип зв'язків між вузлами (партнерські чи конкурентні) може змінюватися в залежності від індивідуальних потреб користувача. Поточна величина спіна вузла визначається виходячи з того факту, що вузол прагне володіти найменшим енергетичним потенціалом

$$E(A_i) = \min(E(A\uparrow), E(A\downarrow)).$$

Числа на лініях зв'язків відповідають значенню коефіцієнта  $k$ , який вказує ступінь впливу сусідніх об'єктів та факторів на розглядуваний вузол.

Наведемо приклад динаміки зміни станів вузлів під впливом факторів та процесів всередині системи:

$$A_1\uparrow: E\uparrow = \text{Inf}(A_2, A_1) + \text{Inf}(A_6, A_1) = 6 + 0 = 6;$$

$$E\downarrow = 0 + 2 = 2 \rightarrow A_1\downarrow.$$

Зміна напрямку вузла  $A_1\uparrow \rightarrow A_1\downarrow$  пов'язана з тим, що енергія  $E\downarrow < E\uparrow$ , а вузол прагне володіти найменшим енергетичним потенціалом.

$$A_2\downarrow: E\downarrow = \text{Inf}(A_1, A_2) + \text{Inf}(A_5, A_2) + \text{Inf}(A_6, A_2) = 6 + 0 + 0 = 6;$$

$$E\uparrow = 0 + 7 + 5 = 12 \rightarrow A_2\downarrow.$$

$$A_3\uparrow: E\uparrow = \text{Inf}(A_1, A_3) + \text{Inf}(A_4, A_3) + \text{Inf}(A_5, A_3) + \text{Inf}(A_6, A_3) = 3 + 5 + 3 + 4 = 15;$$

$$E\downarrow = 0 + 0 + 0 + 0 = 0 \rightarrow A_3\downarrow.$$

$$A_4\uparrow: E\uparrow = \text{Inf}(A_3, A_4) = 5;$$

$$E\downarrow = 0 \rightarrow A_4\downarrow.$$

$$A_5\downarrow: E\downarrow = \text{Inf}(A_1, A_5) + \text{Inf}(A_2, A_5) + \text{Inf}(A_3, A_5) + \text{Inf}(A_6, A_5) = 0 + 0 + 3 + 4 = 7;$$

$$E\uparrow = 4 + 7 + 0 + 0 = 12 \rightarrow A_5\downarrow.$$

$$A_6\downarrow: E\downarrow = \text{Inf}(A_2, A_6) + \text{Inf}(A_3, A_6) + \text{Inf}(A_5, A_6) = 0 + 4 + 0 = 4;$$

$$E\uparrow = 5 + 0 + 3 = 8 \rightarrow A_6\downarrow.$$

Оскільки відбулася зміна станів вузлів  $A_1$ ,  $A_3$  та  $A_4$ , то далі відбуватимуться наступні перетворення:

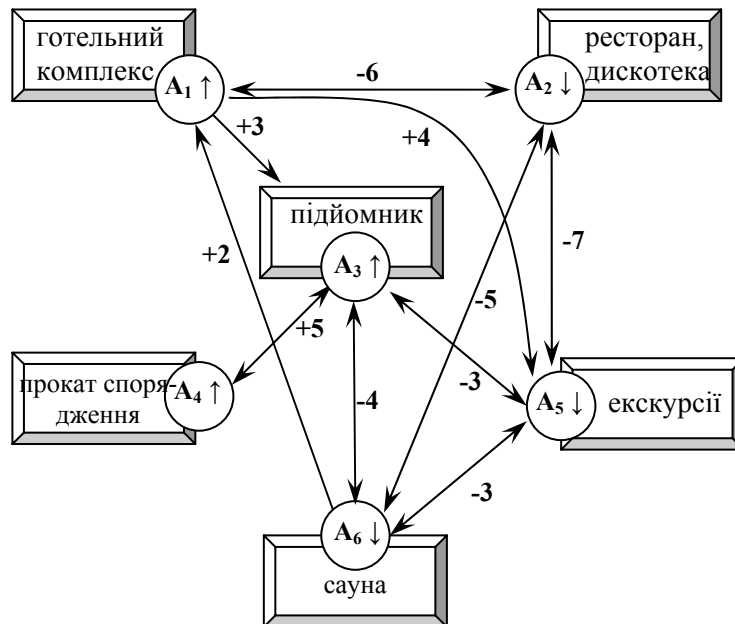


Рис.1. Когнітивна карта семантичної мережі Ізінга для надання туристичних послуг користувачу.

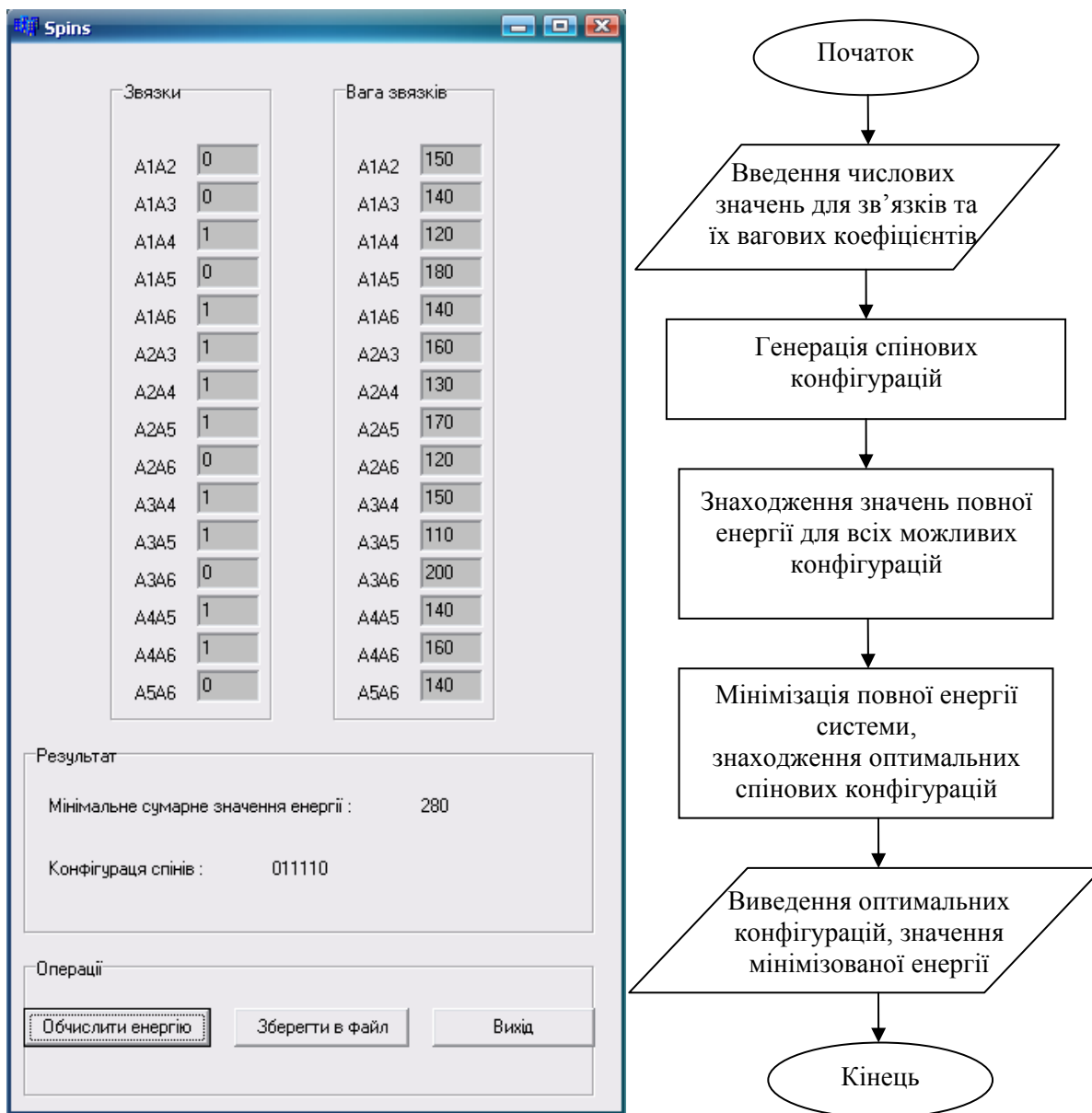


Рис. 2. Результати мінімізації системи з 6 вузлів та блок-схема програми.

$A_2 \downarrow : E \downarrow = 0 + 0 + 0 = 0 \rightarrow A_2 \downarrow$   
 $A_3 \downarrow : E \downarrow = 3 + 5 + 0 + 0 = 8; E \uparrow = 0 + 0 + 3 + 4 = 7 \rightarrow A_3 \uparrow$   
 $A_4 \downarrow : E \downarrow = 5; E \uparrow = 0 \rightarrow A_4 \uparrow$   
 $A_5 \downarrow : E \downarrow = 4 + 0 + 0 + 0 = 4; E \uparrow = 0 + 7 + 3 + 3 = 13 \rightarrow A_5 \downarrow$   
 $A_6 \downarrow : E \downarrow = 0 + 0 + 0 = 0 \rightarrow A_6 \downarrow$

Таким чином, стани вузлів будуть динамічно змінюватись, поки вся накопичена енергія в активній семантичній мережі не витратиться в процесі зміни цих станів.

Серед різних варіантів можливих організаційних структур семантичних мереж можна визначити такі, які володітимуть найбільшою та найменшою стійкістю за Ізінгом, тобто найбільшою та найменшою енергією зв'язків. Міні-

мізація цього значення дозволяє підвищити ефективність вкладу ресурсів у систему.

При побудові мережевої системи важливим фактором є мінімізація її повної енергії, оскільки вузли системи прагнуть перебувати в стані з найменшим енергетичним потенціалом  $\min(E(A_i))$ . Мінімізація системи дозволяє сформувати набори послуг, які будуть користуватися найбільшим попитом і встановити їх оптимальну вартість.

Розроблено програмний продукт, який здійснює мінімізацію системи послуг для конкретних видів зв'язків між вузлами семантичної мережі. На рис.2 наведені результати мінімізації

енергії системи з 6 вузлів, зображених на рис.1. Стовпчик «Зв'язки» вказує на тип зв'язків між вузлами (партнерські, конкурентні). Стовбець «Вага зв'язків» показує числове значення вартості послуги. Конфігурація спінів подається у вигляді коду  $A_1A_2A_3A_4A_5A_6$ .

Змінюючи тип зв'язків між вузлами мережі, кожен раз отримуємо нові значення мінімізованої енергії системи, а отже, і нові конфігурації спінів вузлів (нові можливі послуги туристичного комплексу).

При проведенні числових розрахунків для мінімізації повної енергії системи, яка є сумарною енергією зв'язків, отримуємо різні значення конфігурацій.

Таблиця 1. Значення спінових конфігурацій

№	Конфігурація спінів	Лічильник n
1	000000	1
2	000001	1
3	110010	25
4	101101	29

Для системи із шести спінів кількість можливих конфігурацій, що відповідають різним наборам послуг наданих користувачеві, дорівнює 64. Із них в таблиці 1 наведено оптимальну конфігурацію спінів системи та три близьких до неї.

Лічильник n показує кількість ітерацій, при яких конфігурація спінів вважалась оптимальною. Чим більше значення n, тим ближча до оптимального значення конфігурація.

Конфігурація спінів системи, наведена в четвертому рядку таблиці відповідає найбільшій кількості ітерацій n, а вибраний споживачем набір послуг «готель – прокат спорядження – підйомник - сауна» є таким, якому відповідає оптимальна вартість послуг.

Розроблена програма дозволяє розглянути мережу з великою кількістю вузлів та зв'язків між ними, що відповідає розширенню сфери надання послуг, які можуть бути запропоновані суб'єктам туристичної діяльності. На вхід моделі поступають дані, які характеризують значення факторів впливу, зміна стану одного або декількох з них стимулює процеси переходу

енергії за Ізінгом, після чого система набуває більш-менш стійкого стану. Мінімізація енергії системи відповідає оптимізації набору послуг та їх вартості, які може обрати користувач за рівнем доходів, освіти, віку та різних спонукальних мотивів.

### Висновок

Запропонована модель побудови семантичних мереж дозволяє описати відношення між об'єктами туристичного комплексу та їх функціонування. Розроблено програмний продукт, який здійснює оптимізацію вибору набору послуг та їх вартості для конкретних видів зв'язків між вузлами семантичної мережі. У результаті моделювання самоорганізації системи сформовані набори послуг, які будуть користуватися найбільшим попитом у користувачів та відповідатимуть оптимальній вартості.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ising, E.* Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus. // *Zeitschr. f. Physik*, 1925. – 31. –Р. 253-258.
2. *Тоффолі Т., Марголюс Н.* Машины клеточных автоматов. – М: Мир, 1991. – 180с.
3. *Згуровский М.З., Померанцева Т.Н.* Методы принятия решений в социальных системах на основе спиновых моделей Изинга // Проблемы управления и информатики. – 1995. – №1. – С. 89-97.
4. *Рыжова А.В.* Анализ поляризации мнений в социальной группе на основе обобщенной модели Изинга. - Материалы III Всероссийского социологического конгресса. – М.: Институт социологии РАН, Российское общество социологов, 2008.

Vuklyuk Ya.I., Ivanushchak N.N. **Application of semantic networks on the basis of Ising spin models for decision support systems optimization**

Вьклюк Я.И., Иванушчак Н.Н. **Применение семантических сетей на основе спиновых моделей Изинга для оптимизации систем поддержки принятия решений**

Разработана модель семантической сети, построенной на основе спиновых систем Изинга, которая позволяет осуществить оптимальный по стоимости выбор услуг туристического бизнеса.