

Бідюк П.І., Терентьев О.М., Свердел К.О.

**Побудова медичних експертних систем із використанням мереж  
Байєса**

**Вступ**

Минуле сторіччя розвитку людства супроводжувалося вибухоподібним процесом накопичення колосальних об'ємів різноманітної статистичної інформації в різноманітних сферах діяльності людства. Для обробки та аналізу цієї накопиченої інформації були створені спеціалізовані інститути, фірми та залучені фахівці, що займаються розробкою нових спеціалізованих методів. Так, в 1989 році Григорієм П'ятецьким-Шапіро був введений новий термін Data Mining (ІАД – Інтелектуальний Аналіз Даних), який підкреслив актуальність та важливість нової задачі по виявленню прихованих закономірностей у великих масивах необроблених даних. ІАД складається з задач класифікації, моделювання та прогнозування. Із усіма цими задачами успішно справляються байєсівські мережі (БМ).

БМ зручно використовувати для побудови експертних систем, призначених для постановки медичних діагнозів. Такі системи побудовані, головним чином, на основі правил, що описують сполучення симптомів різних захворювань. За допомогою імовірного висновку в БМ довідаються не тільки, про те, чим хворий пацієнт, але і як потрібно його лікувати. Імовірнісний висновок допомагає вірно обирати засоби медикаментозного впливу, визначати показання та протипоказання, орієнтуватися в лікувальних процедурах, створювати умови найбільш ефективного лікування, прогнозувати результат призначеного курсу лікування та інше [1].

## **Постановка задачі**

Для застосування БМ в якості аналітичного інструменту необхідно розв'язати дві математичні задачі побудови (1) структури (топології) БМ та (2) імовірнісного висновку в БМ.

В даній статті робиться огляд існуючих методів побудови структури та імовірнісного висновку, а також розглядаються практичні приклади застосування БМ в медицині.

### **Задача побудови БМ**

При побудові БМ простим перебором (exhaustive search) множини всіх можливих нециклічних моделей, з яких обирається модель найбільш адекватна навчальним даним, задача стає NP-складною (nondeterministic polynomial-time hard), тому що при повному переборі кількість всіх моделей

дорівнює  $3^{\frac{n \cdot (n-1)}{2}} - k_{cycle}$ , де  $n$  – кількість вершин,  $k_{cycle}$  – кількість моделей з циклами. Кількість всіх можливих нециклічних моделей можна порахувати за допомогою рекурсивної формули Робінсона, запропонованої у 1976 році

$$[2]: f(n) = \sum_{i=1}^n (-1)^{i+1} \cdot C_n^i \cdot 2^{i \cdot (n-i)} \cdot f(n-i), \text{де } n \text{ – кількість вершин, а } f(0) = 1.$$

Тому для усунення проблеми NP-складності задачі побудови БМ застосовують методи зменшення розрахункової складності. Більшість існуючих методів побудови структури БМ можна умовно розділити на дві категорії [3, 4]: (1) на основі оціночних функцій (search & scoring) та (2) застосовуючи тест на умовну незалежність (dependency analysis). З точки зору зменшення розрахункової складності методи побудові БМ поділяють на дві групи: (1) з використанням впорядкованої множини вершин та (2) евристичні методи [5].

В методах із застосуванням оціночних функцій в якості оціночних функцій найчастіше використовують функції: (1) Купера-Герськевича (КГ),

виконується пошук структури БМ із максимальним значенням функції КГ [1, 6]; (2) опису мінімальною довжиною (ОМД), найкращою БМ буде та у якої ОМД мінімальна [5]; (3) різноманітні модифікації функцій КГ та ОМД.

### **Методи імовірносного висновоку в БМ**

Методи імовірнісного висновку в БМ можна розділити на дві групи методів точного висновку та апроксимаційні [7].

#### **Алгоритми точного висновку:**

1. алгоритм Перла;
2. алгоритм кластеризації дерева клік (clique tree clustering);
3. алгоритм визначаючого перетину (cutset conditioning);
4. алгоритми виключення змінних (variable elimination algorithm);
5. алгоритм символічного імовірнісного висновку (SPI – symbolic probabilistic inference) ;
6. диференційний підхід.

Ці алгоритми дають точний чисельний результат, але вони не застосовуються на великих БМ, коли мережа складається з сотень, а навіть і тисяч вершин, у зв'язку з великою обчислювальною складністю, яка близька до експоненціальної. Тому у випадках великих БМ, поступаючись точністю обчислень застосовують апроксимаційні алгоритми висновку.

#### **Апроксимаційні алгоритми висновку:**

1. алгоритми точного визначення часткового висновку;
2. варіаційні методи які використовують для обчислення середніх ознак великих мереж;
3. методи основані на евристичних алгоритмах пошуку які використовують при переході від задачі імовірнісного висновку до оптимізаційної задачі;

4. методи основані на евристичних алгоритмах пошуку які використовують при переході від задачі імовірнісного висновку до оптимізаційної задачі;

5. методи Монте-Карло.

## Приклади застосування БМ в медицині

### Система прогнозування інфаркту міокарди

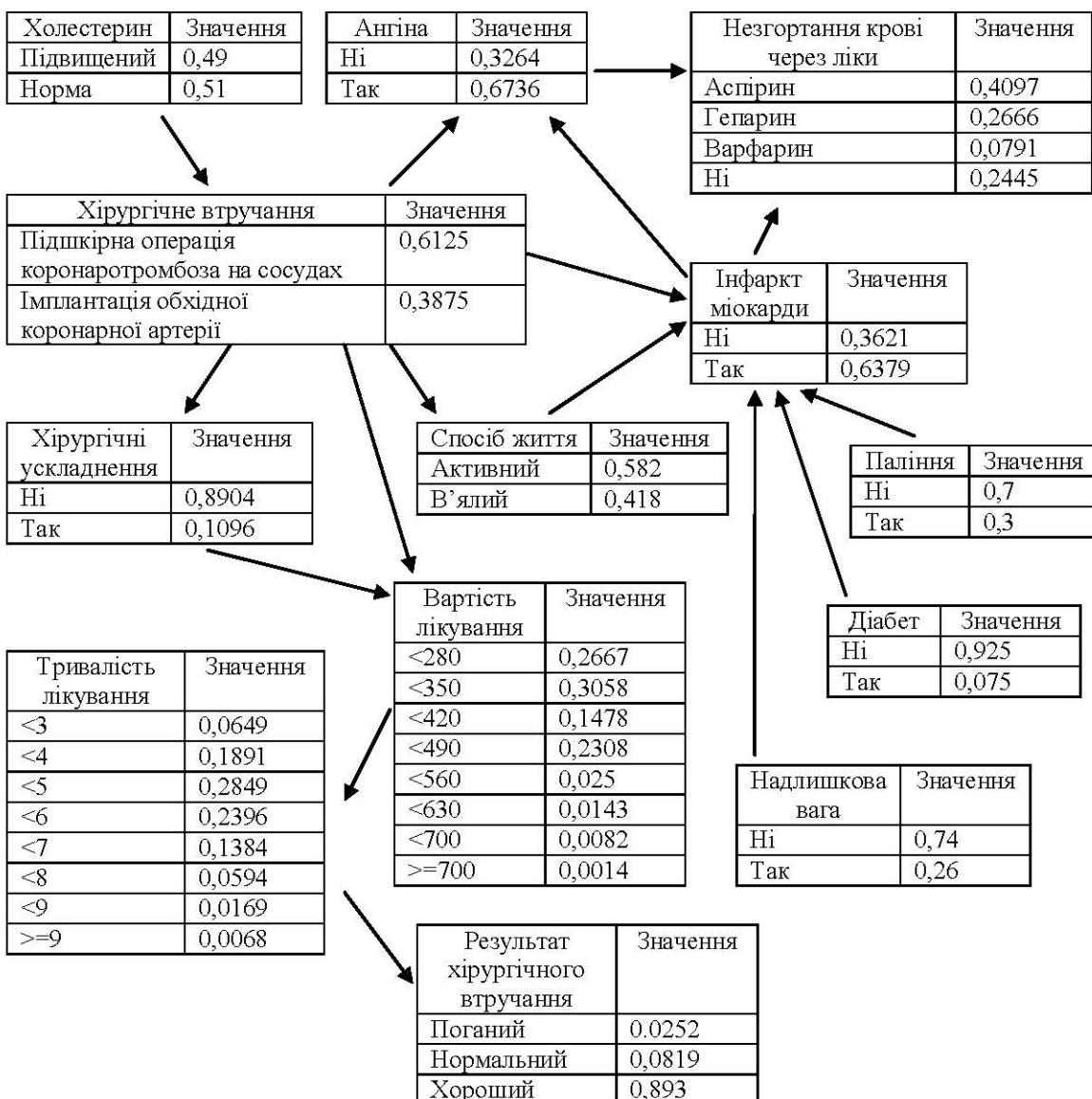


Рис. 1 Приклад застосування БМ в медицині

На рис. 1 наведена медична БМ, яка показує зв'язок між захворюваннями пацієнта, хірургічним втручанням і станом здоров'я. Ця БМ побудована на основі комп'ютерної бази даних ([http://www.umdnj.edu/idsweb/idst6122/data/patlos\\_sample.sav](http://www.umdnj.edu/idsweb/idst6122/data/patlos_sample.sav)), яка складається з інформації про 1481 пацієнта із серцево-судинними захворюваннями. Для побудови структури БМ застосувався евристичний метод [5].

Застосовуючи імовірнісний вивід [1, 6] змодельовано декілька ситуацій, результати моделювання представлені у вигляді табл. 1. Як можна побачити з табл. 1 у випадку коли пацієнт веде здоровий активний стиль життя, та при цьому ніколи не був хворим ангіною і діабетом, вірогідність того, що у нього відбудеться інфаркт міокарда, дорівнює 5,28%, інакше – 97,89%.

Таблиця 1. Результати моделювання по БМ зображені на рис. 1

Таблиця 1

<b>Номер ситуації</b>	<b>Інстанційовані вершини (симптоми, звички та характеристики пацієнта)</b>	<b>Вірогідність того, що інфаркт міокарда відбудеться</b>
<b>1</b>	Хірургічне втручання = “ Підшкірна операція коронаротромбоза на сосудах ”	56,56%
<b>2</b>	Хірургічне втручання = “ Імплантация обхідної коронарної артерії ”	75,41%
<b>3</b>	Спосіб життя = “ Активний ”	55,89%
<b>4</b>	Спосіб життя = “ В'ялий ”	69,59%
<b>5</b>	Надлишкова вага = “ Hi ”	60,18%
<b>6</b>	Надлишкова вага = “ Так ”	74,32%
<b>7</b>	Паління = “ Hi ”	58,23%
<b>8</b>	Паління = “ Так ”	77,12%
<b>9</b>	Незгортання крові через ліки = “ Hi ” та Ангіна = “ Hi ” та Спосіб життя = “ Активний ” та Надлишкова вага = “ Hi ” та Діабет = “ Hi ” та Паління = “ Hi ”	5,28%
<b>10</b>	Незгортання крові через ліки = “ Гепарин ” та Ангіна = “ Так ” та Спосіб життя = “ В'ялий ” та Надлишкова вага = “ Так ” та Діабет = “ Так ” та Паління = “ Так ”	97,89%

## **Система швидкої медичної довідки**

QMR-система (Quick Medical Reference) представляє собою швидку медичну довідкову систему зображена на рис. 2. Вона складається із статистичних та експертних даних [8]. QMR-система почала розроблятися в Пітсбургському університеті у 1980 році, а пізніше увійшла в склад системи Internist-I ([http://openclinical.org/aisp\\_qmr.html](http://openclinical.org/aisp_qmr.html)), як один із діагностичних інструментів лікаря-терапевта. Розробка системи Internist-I була розпочата на початку 1970-х років, перша версія закінчена в 1974 році. На сьогоднішній день QMR-система складається, приблизно з 6000 вершин, з'єднаних більш ніж 415000 дугами. Система спроможна розпізнати близько 750 видів різноманітних захворювань за більше ніж 5000 симптомах та результатах лабораторних аналізів.



Рис. 2 БМ для QMR системи (швидка медична довідка)

## **Інші приклади експертних систем**

Інша система PathFinder розроблена для діагностики захворювань лімфо-узлів [9, 10]. PathFinder включає 60 різноманітних варіантів діагнозу та 130 змінних-симптомів, значення яких можуть спостерігатися при вивчені клінічних випадків. Система змогла наблизитися до рівня експертів і її четверта версія набула стану платної.

Серед інших застосувань БМ в медицині треба виділити Child, Munin, Painulium, SWAN [11] та NESTOR [12].

## **Висновки**

В силу своєї універсальності щодо використовуваних типів даних і типів розв'язуваних практичних завдань БМ представляє собою ідеальний інструмент для аналізу медичних даних, що підкріплюється наведеними практичними прикладами використання БМ. Сучасні існуючі методи на основі БМ дозволяють працювати з неповними даними, а також у випадках коли в аналізі приймають участь тисячі факторів. Але для ефективного практичного широкого впровадження БМ в усіх галузях людської життєдіяльності необхідне удосконалення та розробка нових більш точних та швидких алгоритмів побудови структури мережі та імовірнісного висновку.

## **Література**

1. Терентьев А.Н. , Бидюк П.И., Коршевнюк Л.А. Байесовская сеть – инструмент интеллектуального анализа данных // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 4. – С. 83–92.
2. Robinson R.W. Counting unlabeled acyclic digraphs / Proceeding of fifth Australian on combinatorial mathematics. Melbourne, Australia. – 1976. – Р. 28-43.
3. Cheng J., Bell D.A. and Liu W. Learning belief networks from data: an information theory based approach / Proceedings of the sixth international conference on information and knowledge management (CIKM 1997), Las Vegas (Nevada), November 10-14. – 1997. – Р.325-331.
4. Cheng J., Greiner R., Kelly J., Bell D.A. and Liu W. Learning Bayesian networks from data: an information-theory based approach // The artificial intelligence journal (AIJ). – 2002. – 137. – Р. 43-90.
5. Терентьев А.Н., Бидюк П.И. Эвристический метод построения байесовских сетей // Математические машины и системы. – 2006. – 3. – С. 12-23.

6. Згурівський М.З., Бідюк П.І., Терентьев О.М. Системна методика побудови байєсових мереж // “Наукові вісті” НТУУ “КПІ”. – 2007. – №4. – С. 47–61.

7. Guo H. and Hsu W. A survey of algorithms for real-time Bayesian network inference / In the joint AAAI-02/KDD-02/UAI-02 workshop on real-time decision support and diagnosis systems, Edmonton, Alberta, Canada, 1–4 August, 2002. – SF.: Morgan Kaufmann, 2002. – P. 1-12.

8. Jaakkola T.S. and Jordan M.I. Variational Probabilistic Inference and the QMR-DT network // Journal of artificial intelligence research (JAIR). – Menlo Park: AAAI Press, 1999. – 10. – P. 291-322.

9. Heckerman D. E., Horvitz E. J. and Nathwani B. N. Toward normative expert systems: Part I The PathFinder Project // Methods of information in medicine. – 1992. – Vol. 31, №2. – P. 90-105.

10. Heckerman D. E., Horvitz E. J. and Nathwani B. N. Toward normative expert systems: Part II Probability-base representation for efficient knowledge acquisition and inference // Methods of information in medicine. – 1992. – Vol. 31, №2. – P. 106-116.

11. Shahar Y. Lecture 6: Computing with Influence Diagrams and the PathFinder Project / Course of lectures on “Judgment and Decision Making in Information Systems”. Ben-Gurion University of the Negev, department of Information System Engineering. – 2008. – 26 p.

12. Cooper G. F. A computer-based medical diagnostic aid that integrates causal and probabilistic knowledge / A PhD dissertation, Stanford University of California, department of computer science, Stanford. – 1984. – 256 p.

## Abstract

Bayesian networks represent a useful and seriously claimed instrument for implementation in data-mining systems of various applications. In the article an analysis of existing methods of Bayesian networks construction and probability inference. Examples for using BN in medicine are presented.

Key words: machine learning, Bayesian network, learning, probability inference.

## Аннотация

Байесовские сети (БС) являются серьёзным востребованным инструментом для выполнения интеллектуального анализа данных различной природы. В статье выполнен обзор существующих методов обучения и построения БС, а также приведены практические примеры использования БС в медицине.

Ключевые слова: машинное обучение, Байесовская сеть, методы построения, вероятностный вывод.

## Анотація

Байесові мережі (БМ) – потужний інструмент для інтелектуального аналізу даних різної природи. В статті зроблений огляд існуючих методів навчання та побудови БМ, а також наведені практичні приклади використання БМ в медицині.

Ключові слова: машинне навчання, Байесівська мережа, методи побудови, імовірнісний висновок.

## Інформація про авторів

Бідюк Петро Іванович, доктор технічних наук, професор Інституту Прикладного Системного Аналізу Національного Технічного Університету України “Київський Політехнічний Інститут”.

E-mail: [peterb@mmsa.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:peterb@mmsa.ntu-kpi.kiev.ua)

Терентьев Олександр Миколайович, інженер 1-ї категорії, асистент Інституту Прикладного Системного Аналізу Національного Технічного Університету України “Київський Політехнічний Інститут”.

E-mail: [kenga@voliacable.com](mailto:kenga@voliacable.com)

Свердел Катерина Олександрівна, студент Факультету Прикладної Математики Національного Технічного Університету України “Київський Політехнічний Інститут”.

E-mail: [2\\_sverdel@ukr.net](mailto:2_sverdel@ukr.net)