

О. Г. Лялюк  
Р. С. Осипенко  
Д. О. Мельник

## СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА

Вінницький національний технічний університет

*У роботі представлено системи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності або неповної інформації в будівельних проектах. За допомогою інтегрованих баз даних визначається мінімальний рівень інформації, який можна використовувати як для екстраполяції даних так і заповнення моделей прийняття рішення, щоб оцінити ймовірність параметрів, наприклад вартості чи тривалості їх зведення при застосуванні BIM моделювання проведено розрахунок гіпотези, який базуються на ймовірнісній графовій моделі мережах Байєса.*

*З одного боку BIM є необхідною методикою як для будівництва нових будівель, так і з іншого боку, вона отримує особливу увагу та інтерес власників великих будівельних фондів, які хочуть скористатися перевагами інформаційного моделювання будівель, щоб мати скоординовану систему для спільного використання при будівництві, модернізації та експлуатації будівель та споруд.*

*Особливо в процесі, який стосується управління та обслуговування великих будівельних запасів, передбачає обробку невизначеної інформації в BIM. При роботі з існуючими будівлями, через відсутність та/або неповна наявність документації, що тягне за собою значні інвестиції з точки зору часу та додаткових витрат.*

*Тому представляти надійність існуючих даних, варто запровадити інструмент на основі графової ймовірнісної моделі мережі Байєса, яка пропонує дійсну підтримку прийняття рішень в умовах невизначеності.*

**Ключові слова:** Будівництво, прийняття рішень, ймовірність, графова модель, BIM моделювання, мережі Байєса, штучний інтелект

### Вступ

В умовах сучасного будівництва ключовим фактором успішної реалізації проектів є ефективне прийняття рішень, яке враховує численні технічні, економічні та часові аспекти. Використання технології інформаційного моделювання будівель (BIM) та байєсівських мереж надає нові можливості для підвищення точності та обґрунтованості таких рішень. BIM-моделювання дозволяє створювати детальні цифрові представлення будівель, що містять усю необхідну інформацію для управління проектом на всіх його етапах. Водночас, байєсівські мережі забезпечують потужний інструмент для аналізу ймовірнісних взаємозв'язків між різними параметрами проекту, дозволяючи враховувати невизначеності та ризики.

Інтеграція BIM-моделювання з байєсівськими мережами у системах підтримки прийняття рішень створює умови для більш ефективного управління будівельними проектами. Такий підхід дозволяє не лише моделювати та прогнозувати поведінку будівельних об'єктів у різних сценаріях, але й приймати обґрунтовані рішення, що мінімізують ризики і оптимізують використання ресурсів. У даній статті розглядаються основні принципи та методологія застосування BIM та байєсівських мереж для підтримки прийняття рішень у будівельних проектах, а також наводяться практичні приклади їх використання у реальних умовах.

**Мета роботи** спрямована на підвищення прозорості та ефективності управління будівельними проектами, що є критично важливим для забезпечення їх своєчасної та успішної реалізації. Дослідження і впровадження таких інноваційних систем підтримки прийняття рішень є актуальним завданням для будівельної галузі в цілому.

### Основна частина

#### *Огляд існуючих систем підтримки прийняття рішень*

Прийняття рішень у будівельній галузі включає різні методи та системи, які розроблені для оптимізації управління проектами, розподілу ресурсів та загального успіху проекту. Нижче наведено огляд деяких основних методів, які використовуються у системах прийняття рішень для будівництва:

Багатокритеріальне прийняття рішень (MCDM). Багатокритеріальний аналіз рішень (MCDA): Широко використовується для підтримки прийняття рішень у будівництві, особливо у вирішенні складних проблем з конфліктуєчими критеріями. Допомагає оцінювати різні фази проекту та області застосування [1].

Техніки, такі як АНР та TOPSIS: Використовуються для оцінки та вибору оптимальних рішень на основі множинних критеріїв [2].

Математичні моделі оптимізації (Ant Colony Optimization – ACO). Оптимізація з використанням

алгоритму мурашок (ACO): Використовується для вирішення складних оптимізаційних завдань, таких як планування розташування будівельних майданчиків, імітуючи поведінку мурашок під час пошуку їжі [3].

Генетичні алгоритми (Genetic Algorithms): Корисні для оптимізації ресурсів та розкладів, імітуючи еволюційні процеси для генерації кращих рішень з часом [4].

Системи на базі знань та експертні системи (Knowledge-Based Systems). Системи на базі знань: ці системи використовують запрограмовані знання для вирішення проблем, що вимагають людського міркування, допомагаючи в плануванні та процесах прийняття рішень у будівельних проектах [4].

Нечітка логіка та оптимізація на основі нечіткої логіки (Fuzzy Multiple-Objective Decision-Making – FMODM). Нечітке багатокритеріальне прийняття рішень (FMODM): Поєднує якісні та кількісні дані для вирішення завдань прийняття рішень, особливо корисне при роботі з невизначеною та неточною інформацією [5].

Моделі динаміки систем (Dynamic Modeling) Імітує та аналізує вплив змінних умов проекту на процеси прийняття рішень, допомагаючи професіоналам вибирати методи будівництва, які відповідають цілям щодо часу, вартості та сталого розвитку [6].

Роздуми на основі випадків (Case-Based Reasoning - CBR). Системи CBR: Підтримують прийняття рішень, спираючись на минулі проекти для інформування рішень щодо методів виконання проектів та інших факторів [7].

Цифрові та обчислювальні інструменти (Computer-Aided Systems). Системи з комп'ютерною підтримкою: Підвищують об'єктивність прийняття рішень за допомогою багатокритеріального аналізу та обчислювальних алгоритмів для ранжування та оцінки різних рішень [8].

Різні системи прийняття рішень у будівництві використовують багатокритеріальне прийняття рішень, моделі оптимізації, експертні системи, нечітку логіку, динаміку систем, роздуми на основі випадків та цифрові інструменти для вирішення складнощів та невизначеностей, властивих будівельним проектам. Кожен метод надає певні переваги і підходить для різних ситуацій прийняття рішень, що в кінцевому підсумку підвищує ефективність та результативність управління будівництвом.

#### *ВІМ моделювання*

Розробка ВІМ-моделей існуючих будівель передбачає, перш за все, ретельне вивчення наявної документації, а потім точний аналіз реального стану будівель і об'єкту вцілому. Наступний крок передбачає побудову тривимірних ВІМ-моделей будівель (розробка на платформах Autodesk Revit™), що містить усі визначені технічні елементи та зібрану консолідовану інформацію. Моделі накопичують технічну інформацію, яка пов'язана з конструктивами, елементами, або системами, до якої вони відносяться. Кожен елемент моделі «набуває інформації» про всі параметри, характеристики реальних елементів [13].

У наш час інформація про будівлі часто неповна або застаріла, отже, під час експлуатації непомірно багато часу витрачається на пошук і перевірку конкретної інформації про об'єкт і проект.

#### *Система підтримки прийняття рішень на основі мереж Байєса*

Розглянемо методику для розробки систем підтримки прийняття рішень заснованих на мережах Байєса. Байєсовські мережі (BN) — це ймовірнісні графічні моделі, які представляють набір змінних та їх умовні залежності через спрямований ациклічний граф. Вони є потужними інструментами для моделювання невизначеності в системах прийняття рішень, особливо в будівельних проектах, де різноманітні невизначеності та складні взаємодії є поширеними. Цей документ описує метод використання байєсівських мереж для підтримки прийняття рішень у будівельних проектах, зосереджуючись на наукових термінах і формулах.

#### *Структура байєсівських мереж:*

- Вузлів: Представляють змінні  $X_1, X_2, \dots, X_n$
- Ребер: Орієнтовані зв'язки між вузлами, що представляють умовні залежності.
- Таблиць умовних ймовірностей (CPT): Для кожного вузла

$P(X_i | Parents(X_i))$ , де  $Parents(X_i)$  — це батьківські вузли  $X_i$

Спільний розподіл ймовірностей мережі задається добутком умовних ймовірностей кожного вузла за умови його батьків:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | Parents(X_i)).$$

Застосування у системах прийняття рішень у будівництві:

1. Моделювання змінних:

- Визначити ключові змінні, що впливають на будівельний проект, такі як вартість, час, якість, ресурси та ризики.
- Визначити вузли для цих змінних.
- 2. Визначення залежностей:
  - Встановити взаємозв'язки між змінними. Наприклад, вартість може залежати від наявності ресурсів, а час — від якості матеріалів.
  - Створити орієнтовані ребра для представлення цих залежностей.
- 3. Побудова СРТ:
  - Для кожного вузла визначити СРТ на основі історичних даних, експертних оцінок або статистичного аналізу. Ці таблиці представляють ймовірності кожної змінної за умови її батьківських змінних.

Приклад моделі. Розглянемо простий будівельний проект з наступними змінними: *C*: Вартість; *T*: Час; *Q*: Якість; *R*: Ресурси.

Залежності можна структурувати так: *C* залежить від *R* і *T*; *T* залежить від *Q*; *Q* і *R* є незалежними. (Рис. 1.) А також, окреслимо матрицю сумісності (Рис. 2).

Спільний розподіл ймовірностей:  $P(C, T, Q, R) = P(C|R, T) \cdot P(T|Q) \cdot P(Q) \cdot P(R)$

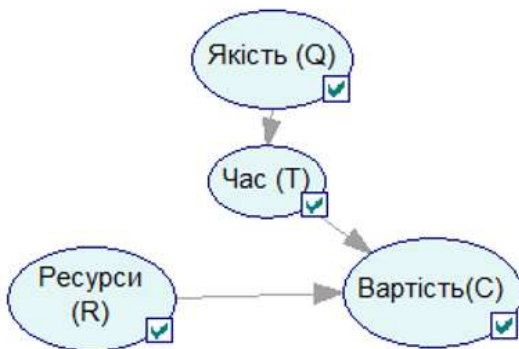


Рисунок 1 – Структурна схема мережі Байєса

	Вартість (C)	Ресурси (R)	Трудовитрати (T)	ВІМ моделювання (Q)
Вартість (C)				
Ресурси (R)	x			
Трудовитрати (T)	x			
ВІМ моделювання (Q)			x	

Рисунок 2 – Матриця сумісності

Байєсівський висновок Для виконання висновків, таких як прогнозування вартості за певних ресурсів і часу, використовуємо наступну формулу:

$$P(C|R = r, T = t) = \frac{P(C, R=r, T=t)}{P(R=r, T=t)} \tag{1}$$

З огляду на відомі значення *R* і *T*, можемо оновити наші оцінки про *C*:

$$P(C|R = r, T = t) = \frac{P(C|R=r, T=t) \cdot P(R=r) \cdot P(T=t)}{P(R=r) \cdot P(T=t)} \tag{2}$$

Практичний приклад. Для будівельного проекту, що включає будівництво мережі електричних станцій, припустимо: *C* (вартість) залежить від *R*; *R* (наявність ресурсів) і *T* (час); *T* (час) залежить від *Q* (якість проектних робіт та матеріалів).

Структура байєсівської мережі. Вузли: *C*, *R*, *T*, *Q*; Ребра:  $R \rightarrow C$ ,  $T \rightarrow C$ ,  $Q \rightarrow T$ .

Таблиця умовних ймовірностей (СРТ) визначена на основі зібраних даних. Наприклад,  $P(C|R, T)$  може бути отримано з минулих проектних даних, що показують, як змінюється вартість залежно від ресурсів і часу. Для обробки великих баз знань необхідно застосовувати машинне навчання для отримання достовірних результатів розподілу ймовірностей  $P(C|R, T)$ .

Застосування формули Байєса. Для прогнозування вартості *C* за певного рівня ресурсів *R* і часу *T*:

1. Визначити СРТ:  $P(C|R, T)$ ;  $P(T|Q)$ ;  $P(Q)$ ;  $P(R)$ .
2. Обчислити спільну ймовірність:  $P(C, T, Q, R) = P(C|R, T) \cdot P(T|Q) \cdot P(Q) \cdot P(R)$
3. Оновити оцінки на основі спостережуваних даних: З огляду на  $R=r$   $T=t$ :

$$P(C|R = r, T = t) = \frac{P(C|R=r, T=t) \cdot P(R=r) \cdot P(T=t)}{P(R=r) \cdot P(T=t)} \tag{3}$$

З огляду на наведені приклади зазначимо, що байєсівські мережі (BNs) забезпечують потужний каркас для прийняття рішень у будівельних проектах, моделюючи залежності між різними факторами та дозволяючи проводити ймовірнісні висновки. Завдяки оновленню оцінок на основі нових даних, BNs допомагають приймати обґрунтовані рішення, враховуючи невизначеності, властиві будівельним проектам.

На основі вищезазначеного прикладу розглянемо гіпотезу: ймовірність зменшення кінцевої вартості проекту (C) за умови поліпшення якості проектних робіт (Q) на базі ВІМ моделювання, доля яких збільшиться на 20 %.

Отже, на основі зібраних та проаналізованих даних попередніх проектів отримано таблицю умовних ймовірностей (табл. 1).

Таблиця 1

Умовні ймовірності

Ймовірність $P(C R,T)$	Таблиці умовних ймовірностей (CPT)				
	Ресурси(R)	Достатні		Недостатні	
	Трудовитрати (T)	Збільшаться	Зменшаться	Збільшаться	Зменшаться
	▶ Збільшиться	0.3	0.1	0.9	0.4
	Зменшиться	0.7	0.9	0.1	0.6
$P(T Q)$		ВІМ моделюва...	Задовільна	Незадовіль...	
	▶ Збільшиться		0.1	0.9	
	Зменшиться		0.9	0.1	
$P(Q)$					
			▶ Задовільна	0.6	
			Незадовільна	0.4	
$P(R)$				LEAK	
			▶ Достатні	0.8	
			Недостатні	0.2	

На основі проведених розрахунків отримано результати (рис. 3) з порівняльними показниками ВІМ моделювання в кількості 60 % та 80 %

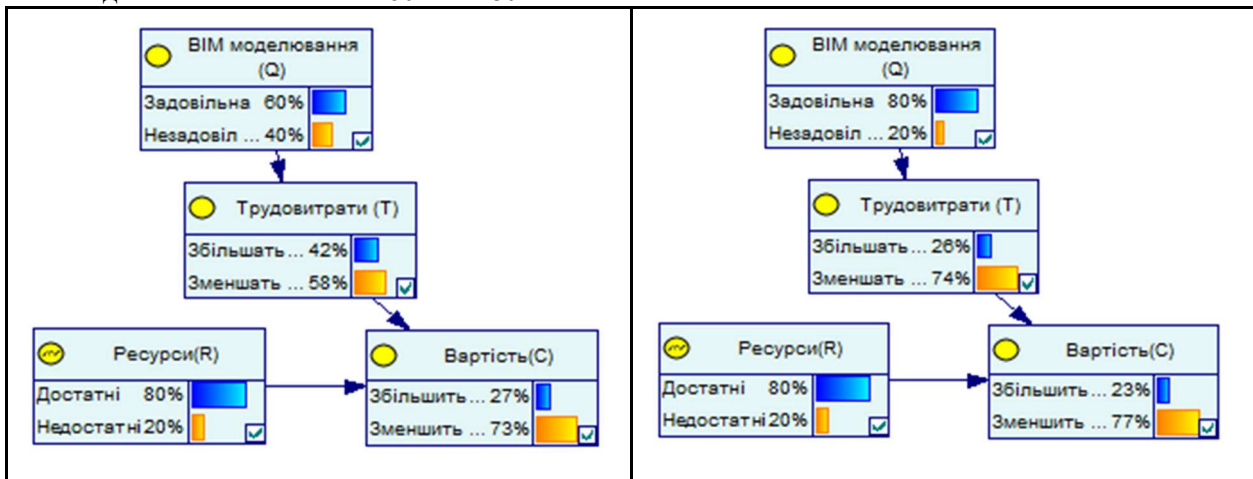


Рисунок 3 – Порівняльний розрахунок на базі мереж Байєса з показникам застосування ВІМ моделювання у кількості 60% та 80%.

Згідно отриманих даних можна зазначити, що при збільшенні застосування ВІМ - моделювання при виконанні проектних робіт на 20%, фінальна вартість проекту (C) зменшиться на 4%. Результат отриманий при заданих значеннях в таблицях умовних ймовірностей.

Для уточнення даних в наступних ітераціях, яких проведено більше 1000 разів (рис.4.) бачимо що ймовірнісна частина знаходиться в межах від 0 до 5%.

Штучний інтелект в експертних системах на основі мереж Байєса: переваги та обмеження

Байєсовські мережі (BN) — це потужні інструменти штучного інтелекту (AI), які використовуються для підтримки процесів прийняття рішень у різних сферах, включаючи будівництво. Вони пропонують структурований підхід до моделювання невизначеності та залежностей між змінними, що особливо корисно в складних середовищах, таких як будівельні проекти. У цьому розділі представлено огляд переваг і обмежень використання байєсівських мереж

в експертних системах для побудови.

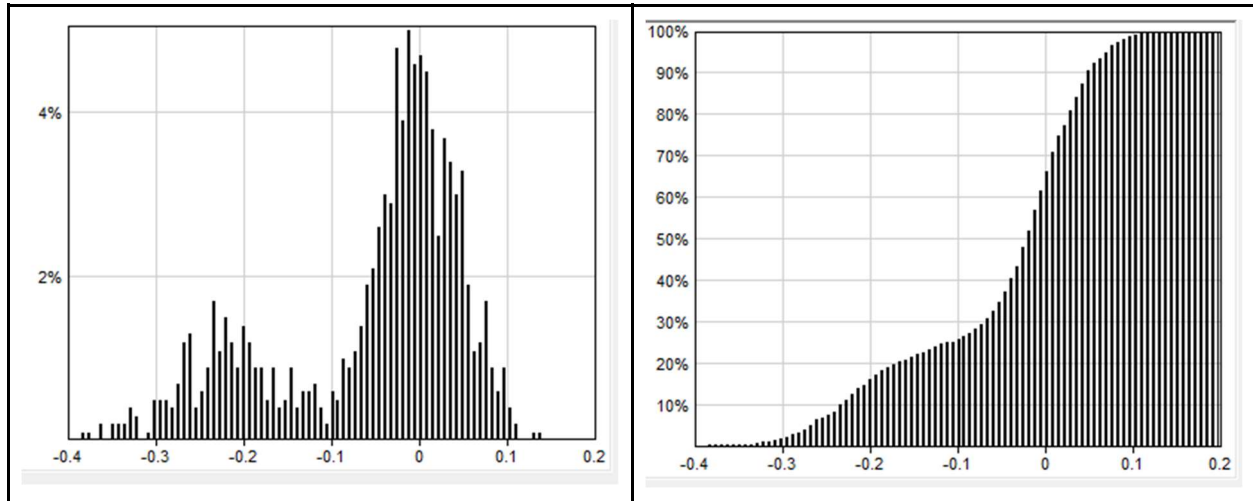


Рисунок 4 – Графік розподілу ймовірностей: Ймовірнісна частина та кумулятивна частина розрахунків

#### *Переваги байєсівських мереж у побудові експертних систем*

**Ймовірнісне міркування:** BN забезпечують природну основу для обробки невизначеності шляхом моделювання ймовірнісних зв'язків між різними змінними. Ця можливість має вирішальне значення в будівництві, де багато факторів, таких як витрати, ресурси та умови навколишнього середовища, є невизначеними [9].

**Навчання з даних:** BN можна оновлювати новими даними, що дозволяє покращувати систему з часом, коли стає доступною додаткова інформація. Це адаптивне навчання є корисним у динамічному будівельному середовищі, де умови можуть швидко змінюватися [10].

**Експертна інтеграція:** BN можуть інтегрувати експертні знання з емпіричними даними, створюючи надійні моделі, які виграють як від теоретичних, так і від практичних уявлень. Ця комбінація підвищує точність і надійність процесу прийняття рішень [11].

**Гнучкість і масштабованість:** BN є гнучкими і можуть застосовуватися до різних аспектів будівельних проектів, від оцінки ризиків до планування проекту. Вони можуть масштабуватися для розміщення великих наборів даних і складних зв'язків, що робить їх придатними для масштабних проектів [12].

**Підтримка прийняття рішень:** Моделюючи причинно-наслідкові зв'язки, BN забезпечують чіткі шляхи для діагностики проблем і прогнозування результатів, що допомагає у проактивному прийнятті рішень і покращує загальне управління проектом [13].

#### *Обмеження байєсівських мереж у будівельних експертних системах*

**Складність побудови моделі:** Побудова BN вимагає значних знань і зусиль, особливо при визначенні структури мережі та умовних ймовірностей. Цей процес може зайняти багато часу та бути схильним до помилок [14].

**Вимоги до даних:** BN потребують значної кількості даних для точної оцінки ймовірностей різних результатів. У будівництві отримання достатніх і надійних даних може бути складним завданням, особливо для нових або унікальних проектів [15].

**Обчислювальні вимоги:** Обчислювальна складність BN може бути високою, особливо для великих мереж із багатьма змінними. Це може обмежити практичне використання BN у сценаріях прийняття рішень у реальному часі, якщо обчислювальними ресурсами не керувати належним чином [16].

**Можливість тлумачення:** Хоча BN забезпечують сувору ймовірнісну структуру, їх результати інколи важко інтерпретувати неекспертам. Це може перешкоджати прийняттю та використанню систем на основі BN у польових умовах, де часто потрібні чіткі та прямі розуміння [17].

## Висновки

Байєсовські мережі пропонують значні переваги в управлінні складнощами та невизначеністю, властивими будівельним проектам. Їхня здатність інтегрувати експертні знання з емпіричними даними, обробляти ймовірнісні міркування та підтримувати адаптивне навчання робить їх цінними інструментами в експертних системах будівництва. Однак такі проблеми, як складність побудови

моделі, вимоги до даних, обчислювальні вимоги та можливість інтерпретації, необхідно вирішити, щоб повністю використати їхній потенціал.

На основі запропонованої моделі підтримки прийняття рішень в будівництві, розглянуто гіпотезу ймовірності зменшення кінцевої вартості проекту (С) за умови поліпшення якості проектних робіт (Q) на базі ВІМ моделювання, доля яких збільшиться на 20 %. За результатом отриманих розрахунків визначено, що кінцева вартість реалізованих проектів може бути зменшена на 4 % при збільшенні долі ВІМ моделювання при розробці, будівництві та експлуатації мережі електричних станцій. При масштабуванні мережі доля капітальних інвестицій збільшується значною мірою, тому розуміння правильного прийняття рішень на ранніх етапах будівництва може призвести до суттєвої економії ресурсів та забезпечить прозорість при виконанні робіт на всіх етапах будівництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Marcher, C., Giusti, A., & Matt, D. (2020). Decision Support in Building Construction: A Systematic Review of Methods and Application Areas. *Buildings*.
2. Szafranko, E. (2017). Decision problems in management of construction projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
3. Ning, X., Lam, K., & Lam, M. (2011). A decision-making system for construction site layout planning. *Automation in Construction*, 20, 459-473.
4. Haidar, A. (2016). Techniques for Intelligent Decision Support Systems.
5. Lam, K., So, A., Hu, T., Ng, T. W. H., Yuen, R., Lo, S., Cheung, S., & Yang, H. (2001). An integration of the fuzzy reasoning technique and the fuzzy optimization method in construction project management decision-making. *Construction Management and Economics*, 19, 63-76.
6. Ozcan-Deniz, G., & Zhu, Y. (2016). A system dynamics model for construction method selection with sustainability considerations. *Journal of Cleaner Production*, 121, 33-44.
7. Yoon, Y., Jung, J.-H., & Hyun, C.-t. (2016). Decision-making Support Systems Using Case-based Reasoning for Construction Project Delivery Method Selection: Focused on the Road Construction Projects in Korea. *The Open Civil Engineering Journal*, 10, 500-512.
8. Książek, M., Nowak, P., Kivrak, S., Roslon, J., & Ustinovichius, L. (2015). Computer-aided decision-making in construction project development. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21, 248-259.
9. Korb, K., & Nicholson, A. (2004). Bayesian Artificial Intelligence. *Pattern Analysis and Applications*, 7(4), 221-223.
10. Premchaiswadi, W., & Jongsawat, N. (2012). Building a Bayesian Network Model Based on the Combination of Structure Learning Algorithms and Weighting Expert Opinions Scheme. *Journal of Computational Intelligence and Electronic Systems*.
11. Flores, M., Nicholson, A., Brunskill, A., Korb, K., & Mascaro, S. (2011). Incorporating Expert Knowledge When Learning Bayesian Network Structure: A Medical Case Study. *Artificial Intelligence in Medicine*, 53(3), 181-204.
12. Kjærulff, U., & Madsen, A. (2007). Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 104.
13. McCabe, B., Abourizk, S., & Goebel, R. (1998). Belief Networks for Construction Performance Diagnostics. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(2), 93-100.
14. Pinto, F. J. (2019). Application of the Bayesian Model in Expert Systems. *Journal of Applied Mathematics and Computation*.
15. Gamez, J. A., & Puerta, J. M. (2002). Searching for the Best Elimination Sequence in Bayesian Networks by Using Ant Colony Optimization. *Pattern Recognition Letters*, 23(2), 261-277.
16. Thirumuruganathan, S., & Huber, M. (2011). Building Bayesian Network Based Expert Systems from Rules. 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 3002-3008.
17. Pan, Y., & Zhang, L. (2021). Roles of Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management: A Critical Review and Future Trends. *Automation in Construction*, 122, 103517.

## REFERENCES

1. Marcher K., Dzhusti A. та Mett D. (2020). Pidtrymka pryynyattya rishen' u budivnytstvi: systematychnyy ohlyad metodiv i sfer zastosuvannya. *Budivli*.
2. Shafranko YE. (2017). Problemy vyrishennya v upravlinni budivel'nyh proektamy. *Seriya konferentsiy IOP: Materialoznavstvo ta inzheneriya*.
3. Nin, X., Lam, K., i Lam, M. (2011). Systema pryynyattya rishen' dlya planuvannya rozmyshchennya budivel'noho maydanchyka. *Avtomatyzatsiya v budivnytstvi*, 20, 459-473.
4. Haydar A. (2016). Metody dlya intelektual'nykh system pidtrymky pryynyattya rishen'.
5. Lam, K., So, A., Khu, T., Nh, T. V. KH., Yuen, R., Lo, S., Cheunh, S., i Yan, KH. (2001). Intehratsiya tekhniki nechitkykh mirkuvan' i metodu nechitkoyi optymizatsiyi v protsesi pryynyattya rishen' z upravlinnya proektom budivnytstva. *Upravlinnya ta ekonomika budivnytstva*, 19, 63-76.
6. Ozdhan-Deniz H. та Chzhu YU. (2016). Model' systemnoyi dynamiky dlya vyboru metodu budivnytstva z urakhuvannyam stiykosti. *Journal of Cleaner Production*, 121, 33-44.
7. Yun, YU., Chon, Dzh.-KH., Khyun, K.-t. (2016). Systemy pidtrymky pryynyattya rishen', yaki vykorystovuyut' arhumentatsiyu na osnovi konkretnykh vypadkiv dlya vyboru metodu vykonannya budivel'nykh proektiv: zoseredzheno na proektakh budivnytstva dorih u Koreyi. *The Open Civil Engineering Journal*, 10, 500-512.
8. Ks'onzhhek, M., Novak, P., Kivrak, S., Roslon, Y., та Ustynovichyus, L. (2015). Avtomatyzovane pryynyattya rishen' pry rozrobtsti budivel'noho proektu. *Zhurnal tsyvil'noho budivnytstva ta upravlinnya*, 21, 248-259.
9. Korb K. та Nikolson A. (2004). Bayyeesivs'kyu shuchnyy intelekt. *Analiz shabloniv i zastosuvannya*, 7(4), 221-223.
10. Premchaysvadi V. та Dzhonsavat N. (2012). Pobudova bayyeesivs'koyi modeli merezhi na osnovi kombinatsiyi alhorytmiv

- vyvchennya struktury ta skhemy zvezhuvannya dumok ekspertiv. Zhurnal obchyslyval'noho intelektu ta elektronnykh system.
11. Flores M., Nikolson A., Brunskill A., Korb K. ta Maskaro S. (2011). Vkluychennya ekspertnykh znan' pid chas vyvchennya bayesiv's'koyi merezhevoyi struktury: medychne doslidzhennya. Shtuchnyy intelekt v medytsyni, 53 (3), 181-204.
  12. Kjærulff, U., & Madsen, A. (2007). Bayesovs'ki merezhi ta diahramy vplyvu: posibnyk iz pobudovy ta analizu. Zhurnal Amerykans'koyi statystychnoyi asotsiatsiyi, 104.
  13. Makkeyb B., Aburizk S. ta Hebel' R. (1998). Merezhi perekonan' dlya diahnozyky efektyvnosti budivnytstva. Journal of Computing in Civil Engineering, 12(2), 93-100.
  14. Pinto, F. Dzh. (2019). Zastosuvannya bayesiv's'koyi modeli v ekspertnykh systemakh. Zhurnal prykladnoyi matematyky ta obchyslen'.
  15. Hames, Dzh. A., Puerta, Dzh. M. (2002). Poshuk naykrashchoyi poslidoynosti eliminatsiyi v bayesiv's'kykh merezhakh za dopomohoyu optymizatsiyi koloniyi murakh. Lysty rozpiznavannya obraziv, 23(2), 261-277.
  16. Tirumuruhanatan S. ta Khuber M. (2011). Pobudova ekspertnykh system na osnovi bayesiv's'koyi merezhi z pravyl. 2011 Mizhnarodna konferentsiya IEEE z system, lyudyny ta kibernetiky, 3002-3008.
  17. Pan YU. i Chzhan L. (2021). Rol' shtuchnoho intelektu v budivnytstvi ta upravlinni: krytychnyy ohlyad i maybutni tendentsiyi. Avtomatyzatsiya v budivnytstvi, 122, 103517.

**Осипенко Роман Сергійович** – студент, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [r.osypenko@uhe.gov.ua](mailto:r.osypenko@uhe.gov.ua). ORCID 0009-0002-9503-7297

**Лялюк Олена Георгіївна** – к. т. н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, науковий керівник. e-mail: [Lyaluk74@gmail.com](mailto:Lyaluk74@gmail.com)  
ORCID 0000-0001-6446-9244

**Мельник Деніс Олександрович** – магістр спеціальності Інженерія програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету, e-mail: [denismel19@gmail.com](mailto:denismel19@gmail.com), ORCID 0009-0000-8685-088X

**O. Lialiuk**  
**R. Osypenko**  
**D. Melnyk**

## DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEMS IN CONSTRUCTION PROJECTS BASED ON BAYES NETWORKS

Vinnitsia financial and economic University

*The work presents support systems for decision-making in conditions of uncertainty or incomplete information in construction projects. With the help of integrated databases, the minimum level of information is determined, which can be used both for data extrapolation and for filling decision-making models. In order to estimate the probability of parameters, for example, the cost or duration of their compilation when applying BIM modeling, a hypothesis calculation was carried out, which is based on a probabilistic graph model of networks Bayes.*

*On the one hand, BIM is a necessary technique both for the construction of new buildings, and on the other hand, it receives particular attention and interest from owners of large construction funds who want to take advantage of building information modeling to have a coordinated system for joint use during construction, modernization and operation of buildings and structures.*

*Especially in a process related to the management and maintenance of large construction stocks, it involves the processing of uncertain information in BIM. When working with existing buildings, due to the absence and/or incomplete availability of documentation, which entails significant investments in terms of time and additional costs.*

*Therefore, to represent the reliability of existing data, it is worth introducing a tool based on a graphical probabilistic Bayesian network model that offers valid decision support under uncertainty.*

*Keywords: Construction, decision-making, probability, graph model, BIM modeling, Bayesian network, artificial intelligence.*

**Lialiuk Olena** – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: [Lyaluk74@gmail.com](mailto:Lyaluk74@gmail.com)

**Osypenko Roman** –master, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, [r.osypenko@uhe.gov.ua](mailto:r.osypenko@uhe.gov.ua)

**Melnyk Denys** – master's degree in software engineering of Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: [denismel19@gmail.com](mailto:denismel19@gmail.com)