

Г. І. ГАЙКО<sup>1\*</sup>, І. О. САВЧЕНКО<sup>2</sup>, І. О. МАТВІЙЧУК<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», корп. 22, буд. 37, просп. Перемоги, Київ, Україна, 03056, тел. (050) 921 94 59, ел. пошта gayko.kpi@meta.ua, ORCID 0000-0001-7471-3431

<sup>2</sup> Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», корп. 35, буд. 37, просп. Перемоги, Київ, Україна, 03056, тел. (050) 387 16 88, ел. пошта saviil.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-0921-5425

<sup>3</sup> Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», корп. 22, буд. 37, просп. Перемоги, Київ, Україна, 03056, ел. пошта matveychuk593@gmail.com, ORCID 0000-0002-3262-8762

## ОЦІНЮВАННЯ ДІЛЯНОК БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ ПАРКІНГІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ

**Мета.** Розробка й тестування моделі, що формалізує і супроводжує процес прийняття рішення про доцільність використання території (геологічного середовища) для міського підземного будівництва. **Методика.** Модифікований метод морфологічного аналізу урбанізованих територій, метод експертних оцінок. **Результати.** Розроблена й апробована морфологічна модель та інструментарій оцінювання ділянок будівництва підземних об'єктів, розроблені морфологічні таблиці, обґрунтовані оцінки альтернативних станів і шкали експертних оцінок, побудовані матриці взаємозв'язків факторів впливу та альтернатив параметрів, з використанням розробленої моделі проведено оцінювання двох ділянок території Києва, призначених для будівництва підземних паркінгів. **Наукова новизна.** Вперше розроблено морфологічну модель територіального розвитку підземної урбаністики, яка поєднує впливи геологічного середовища та фактори структурно-функціонального характеру, проведено її тестування на реальних будівельних ділянках Києва, застосовано модифікований метод морфологічного аналізу для оцінки ризиків урбаністичного освоєння підземного простору, отримані системні характеристики міських територій, які показують ступінь сприятливості будівництву підземних паркінгів. **Практична значимість.** Оцінка перспектив підземного будівництва на передпроектній стадії, можливості управління ризиками розвитку підземної урбаністики, зменшення вірогідності проектних помилок через неврахування певних факторів або особливостей геологічного середовища та техногенних впливів, зручна форма подання інформації для прийняття управлінських рішень у вигляді таблиць, діаграм або графіків.

*Ключові слова:* підземна урбаністика; підземні паркінги; георесурси; геологічне середовище; міське підземне будівництво; морфологічний аналіз; морфологічна модель; параметри впливу

### Вступ

Серед великого розмаїття об'єктів міської підземної урбаністики особливе значення набувають підземні паркінги, оскільки проблема автостоянок у центральній (діловій) частині мегаполісів, а також на їх периферії, де мешканці прилеглих міст і поселень у значній масі переходять на міській транспорт (здебільшого – метрополітен) – стоїть надзвичайно гостро (Гайко, 2014; Ресин, & Попков, 2013; Самедов, & Кравець, 2011). Як було показано в роботі Панкратової та Савченка (2009), для ліквідації заторів і збільшення середньої швидкості руху у великих містах важливим фактором є рівень захаарченості транспортних шляхів, які іноді

використовують для тимчасової стоянки автомобілів. З погляду на це роль підземних паркінгів ще більше зростає. Слід зазначити, що знайти вільні ділянки під паркінги на денній поверхні у середмісті мегаполісів майже неможливо, оскільки колишнє планування міст не передбачало сучасної кількості автомобілів, а будь-які «вільні» ділянки були «правдами й неправдами» використані забудовниками для зведення житлових будинків, офісних чи торговельних центрів. Саме тому рішення проблеми парковки автомобільного транспорту в середмісті й на кінцевих станціях метра має лише одну вагому перспективу – будівництво підземних паркінгів. Серед прикладів системного підходу до вирішення проблеми зазначимо майже одночасне

будівництво 41 підземного паркінгу в Парижі, причому Науково-координаційна рада з підземної урбаністики під керівництвом славнозвісного організатора освоєння підземного простору європейських міст Е. Утюджана провела складні й суперечливі дискусії, щодо місця розташування цих підземних об'єктів (Келемен, & Вайда, 1985).

Вибір ділянки для будівництва підземного паркінга може бути успішно здійснений з використанням групи методів системного аналізу, відомої як методи якісного аналізу (Згуровський, & Панкратова, 2015; Панкратова, & Малафєєва, 2014), зокрема методу морфологічного аналізу (Савченко, 2016). В роботах (Pankratova, Savchenko, Gayko, & Kravets, 2018; Панкратова, Савченко, Гайко, & Кравець, 2018) були розглянуті альтернативні ділянки для будівництва паркінгів з позицій сприятливості геологічного середовища та техногенних факторів, зокрема були враховані: рівень динамічного навантаження, показник статичного навантаження від поверхневої забудови, показник статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву, вплив існуючих підземних об'єктів, генетичний тип та літологічний склад ґрунтів, розрахунковий опір ґрунту, вплив водоносних горизонтів і верховодки, тип рельєфу і морфометрія, інженерно-геологічні процеси, геотехнології будівництва підземних споруд. Це важливі чинники, які значною мірою визначають вартість і ризики будівництва й експлуатації споруди. Проте задача раціонального розміщення паркінгу є більш складною, оскільки поєднує оцінку як впливів геологічного середовища, так і структурно-функціональних факторів, які будуть визначати затребуваність паркінга на тій чи іншій території та комерційну привабливість інвестицій (Рябкова, 2014; Радкевич, Аругтюнян, & Сайков, 2018).

### Мета

Мета роботи полягає в розробці інструментарію, створенню та тестуванні морфологічної моделі, що формалізує і супроводжує процес прийняття рішення про доцільність використання території для будівництва підземного паркінгу з урахуванням як техногенних і геологічних, так і структурно-функціональних факторів.

### Методика

В даній роботі в якості інструментарію моделювання обрано модифікований метод морфологічного аналізу (МММА) (Савченко, 2016). Цей метод добре працює в умовах ситуаційної невизначеності, притаманної багатьом задачам системного аналізу і моделювання складних систем. Метод морфологічного аналізу є гнучким і універсальним, і він чудово зарекомендував себе для моделювання задач із дуже великою кількістю можливих альтернативних конфігурацій (Duczynski, 2017; Johansen, 2018; Sae-Hyun, & Ahn, 2019). Ідея модифікованого методу полягає у формуванні множини різноманітних варіантів деякого об'єкта (системи, події, явища тощо) і врахування всіх його можливих конфігурацій одночасно шляхом залучення Байєсівського апарату ймовірностей.

Задача оцінювання ділянки щодо придатності для підземного будівництва має ряд факторів, яким притаманна невизначеність. Така невизначеність пов'язана із декількома особливостями:

1) точне оцінювання всіх факторів впливу вимагає проведення певних інженерних або геологічних робіт і детальних вимірювань, що потребує часу та ресурсів і не завжди є економічно доцільним на передпроектному етапі;

2) більшість ділянок є неоднорідними і, відповідно, мають характеристики, що змінюються у просторі.

Тому для оцінювання залучаються експерти, які можуть приймати рішення, базуючись на досвіді, інтуїції і відносно невеликій кількості наявної інформації про ділянку.

Побудова моделі в МММА має такі кроки:

1) визначення об'єктів (сутностей), яким відповідатимуть морфологічні таблиці, та зв'язків між ними;

2) побудова морфологічних таблиць (МТ) для кожного з об'єктів;

3) оцінювання залежностей між параметрами морфологічних таблиць.

Після цього модель вважається побудованою, і може бути використаною для розрахунку оцінок альтернатив параметрів конкретного об'єкта на основі введеної експертної інформації щодо цього об'єкта.

Для створення моделі щодо оцінювання ділянок будівництва підземних паркінгів була

побудована мережа морфологічних таблиць (рис. 1).



Рис. 1. Мережа морфологічних таблиць. Стрілки позначають наявність матриці зв'язків між МТ

Параметри об'єктів морфологічного аналізу були рознесені в чотири окремих таблиці. Перша таблиця «I. Характеристика ділянки» містить шість параметрів із відповідними альтернативами, що відповідають ділянці:

1. Типи урбаністичних об'єктів, що знаходяться поблизу (житлова забудова; офісні та адміністративні будівлі; торговельні та розважальні центри; стадіони, концертні зали, театри; середні та вищі навчальні заклади; архітектурні пам'ятки й туристичні об'єкти; промислові підприємства);

2. Кількість мешканців (до 1000; 1000...3000; 3000...6000; 6000...10000; більше 10000);

3. Кількість робочих місць (до 500; 500...1000; 1000...3000; 3000...5000; більше 5000);

4. Швидкість руху автотранспорту (висока – більше 60 км/год; середня – 30...60 км/год; низька – 15...30 км/год; дуже низька – менше 15 км/год);

5. Існуючі наземні та підземні паркомісця (до 50 п/м; 50...200 п/м; 200...400 п/м; більше 400 п/м);

6. Доступність будівельних територій (без ускладнень; невеликі ускладнення; суттєві ускладнення).

Можна побачити, що для параметрів характерні різні типи невизначеності – невизначеність за рахунок просторового (параметр 1 – на одній ділянці, як правило, знаходяться одночасно різні типи урбаністичних об'єктів в деякій пропорції) або часового (параметр 4 – швидкість руху автотранспорту змінюється в часі)

розподілення, інформаційна невизначеність (наприклад, параметри 2 і 3 – визначення точної кількості потребуватиме спеціальних досліджень, які вимагатимуть додаткових ресурсів, тому достатньо оціночних суджень).

Зазначимо, що для задачі було вирішено розглядати радіус 300 м як компроміс щодо максимальної відстані, яку людина згодна пройти від припаркованої машини.

Для таблиці було вирішено не вводити матрицю взаємозв'язків, оскільки більшість параметрів є незалежними між собою. Тому безпосередня оцінка відповідних альтернатив повинна в значній мірі відповідати дійсності і не потребувати окремого перерахунку.

Наступна таблиця «II. Результати аналізу ділянки» містить два параметри, які описують потребу в організації паркінгу – приблизну кількість необхідних паркомісць (параметр «7. Необхідність у паркомісцях», альтернативи ті ж, що і у параметра 5 у попередній таблиці), а також тип потреби в них (параметр «8. Тип потреби у паркомісцях»):

– постійна – якщо потреба в паркомісцях залишається незмінною в різний час;

– маятникова – якщо потреба в паркомісцях залежить від часу доби (наприклад, для офісних центрів або ТРЦ);

– пікова – якщо може існувати потреба прийняти разові навантаження припаркованих автомобілів (наприклад, для стадіонів, концертних залів і т.п.).

Ця таблиця пов'язана матрицею зв'язків із попередньою таблицею, і її оцінки визначаються на основі розрахунку, що використовує цю матрицю і оцінки попередньої таблиці.

Таблиця «III. Результати морфологічного аналізу щодо геологічного середовища» містить параметри, взяті з оцінювання геологічного середовища, проведеного за процедурою, описаною в (Савченко, 2016). З таблиці результатів оцінювання взяті тільки ті, які безпосередньо впливають на рішення щодо будівництва паркінгу: параметри «А. Придатність ділянки», «В. Масштаб об'єкта», «С. Глибина забудови», які в мережі МТ з рис. 1 отримали номери відповідно 9...11. Вхідними даними для цієї таблиці є результати проведеного аналізу геологічного середовища.

Таблиця «IV. Рішення щодо ділянки» містить параметри, які описують рішення, яке до-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

цільно прийняти щодо розглядуваної ділянки – ваги придатності або непридатності ділянки для будівництва паркінгу (параметр «А. Доцільність будівництва паркінгу»), і найбільш доцільний розмір паркінгу, враховуючи як потребу у паркомісцях, так і оцінені параметри геологічного середовища (параметр «В. Доцільний розмір паркінгу»).

Таблиця IV пов'язана матрицею зв'язків із всіма попередніми таблицями. Матриці зв'язків заповнені на основі експертного опитування. Таким чином отримана модель для оцінювання доцільності будівництва паркінгу.

**Результати**

Для тестування розробленої моделі були

взяті ті ж дві ділянки, що і в дослідженні (Панкратова, Савченко, Гайко, & Кравець, 2018):

– ділянка 1 – у Шевченківському районі на Проспекті Перемоги;

– ділянка 2 – у Шевченківському районі між вулицями Бульварно-Кудрявська та Гончара.

Оцінювання ділянок здійснювалось шляхом експертного опитування, де експерту пропонувалось оцінити відповідність кожної альтернативи кожного параметра МТ «І. Характеристика ділянки» обом ділянкам, і в результаті отримані такі вхідні дані (табл. 1). Для кожного параметра ваги альтернатив були пронормовані, щоб сума ваг дорівнювала одиниці.

Таблиця 1

**Вхідні дані щодо характеристик ділянок**

Параметр	Альтернатива	Ненормовані значення		Нормовані значення	
		Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 1	Ділянка 2
1	1.1 Житлова забудова	0,8	0,8	0,242	0,184
	1.2 Офісні та адміністративні будівлі	0,8	0,8	0,242	0,184
	1.3 Торгівельні та розважальні центри	0,65	0,8	0,197	0,184
	1.4 Стадіони, концертні зали, театри	0,65	0,65	0,197	0,149
	1.5 Середні та вищі навчальні заклади	0,2	0,65	0,061	0,149
	1.6 Архітектурні пам'ятки й туристичні об'єкти	0	0,65	0,000	0,149
	1.7 Промислові підприємства	0,2	0	0,061	0,000
2	2.1 До 1000	0	0,2	0,000	0,091
	2.2 1000...3000	0,35	0,65	0,206	0,295
	2.3 3000...6000	0,8	0,8	0,471	0,364
	2.4 6000...10000	0,35	0,35	0,206	0,159
	2.5 Більше 10000	0,2	0,2	0,118	0,091
3	3.1 До 500	0,35	0,2	0,175	0,100
	3.2 500...1000	0,8	0,65	0,400	0,325
	3.3 1000...3000	0,65	0,8	0,325	0,400
	3.4 3000...5000	0,2	0,35	0,100	0,175
	3.5 Більше 5000	0	0	0,000	0,000
4	4.1 Висока (більше 60 км/год)	0,35	0,35	0,206	0,163
	4.2 Середня (30...60 км/год)	0,8	0,65	0,471	0,302
	4.3 Низька (15...30 км/год)	0,35	0,8	0,206	0,372
	4.4 Дуже низька (менше 15 км/год)	0,2	0,35	0,118	0,163

Закінчення таблиці 1

5	5.1 До 50 п/м	0,8	0,8	0,593	0,400
	5.2 50...200 п/м	0,35	0,65	0,259	0,325
	5.3 200...400 п/м	0,2	0,35	0,148	0,175
	5.4 Більше 400 п/м	0	0,2	0,000	0,100
6	6.1 Без ускладнень	0,8	0,65	0,485	0,361
	6.2 Невеликі ускладнення	0,65	0,8	0,394	0,444
	6.3 Суттєві ускладнення	0,2	0,35	0,121	0,194

На першому етапі розрахунку був врахований зв'язок між МТ «І. Характеристика ділянки» і «ІІ. Результати аналізу ділянки», що на основі вхідних даних з табл. 1 дало такі результати щодо потенційної потреби ділянок у паркомісцях (табл. 2).

Таблиця 2

**Результати аналізу ділянок з точки зору потреби в паркомісцях**

Пар.	Альтернатива	Ділянка 1	Ділянка 2
7	7.1. До 50 п/м	0,306	0,379
	7.2. 50...200 п/м	0,407	0,390
	7.3. 200...400 п/м	0,206	0,179
	7.4. Більше 400 п/м	0,080	0,053
8	8.1. Постійна	0,272	0,275
	8.2. Маятникова	0,375	0,372
	8.3. Пікова	0,352	0,354

Як бачимо, розподіл типів потреби для обох ділянок досить близький, але для першої ділянки потреба у паркомісцях зміщена в сторону більших значень порівняно із другою ділянкою.

Далі, беручи в якості вхідних даних табл. 1, 2, а також результати оцінювання геологічного середовища з (Панкратова, Савченко, Гайко, & Кравець, 2018), були оцінені альтернативи параметрів рішень щодо ділянок (табл. 3).

Із отриманих результатів можна зробити ряд висновків. Обидві ділянки вельми сприятливі для будівництва підземних паркінгів, що видно із оцінок альтернатив параметра «А. Доцільність будівництва паркінгу». Це зумовлено розміщенням обох ділянок у місцях високої функціональної активності міського життя, у безпосередній близькості від офісних і адміністративних будівель, торгівельних і розважальних об'єктів, навчальних закладів тощо.

© Г. І. Гайко, І. О. Савченко, І. О. Матвійчук, 2019

Таблиця 3

**Результати оцінювання альтернатив рішень щодо ділянок**

Пар.	Альтернатива	Ділянка 1	Ділянка 2
А	А.1. Будівництво доцільне	0,853	0,979
	А.2. Будівництво недоцільне	0,147	0,021
В	В.1. До 50 п/м	0,429	0,355
	В.2. 50...200 п/м	0,444	0,456
	В.3. 200...400 п/м	0,121	0,160
	В.4. Більше 400 п/м	0,007	0,028

Проте друга з розглянутих ділянок виявилась більш сприятливою, що значною мірою пояснюється кращими показниками її геологічного середовища, розрахованими в роботі (Панкратова, Савченко, Гайко, & Кравець, 2018). Найбільш доцільним розмірами потенційних паркінгів виявились альтернативи «50–200 паркомісць» (оцінки 0,444 і 0,456 відповідно). Високі оцінки відносно невеликих паркінгів можна пояснити як кількісними показниками структурно-функціональних факторів для розглянутих районів (обмежених радіусом 300 м навколо паркінга), так і тим, що в оцінці геологічного середовища ваги доцільного масштабу (розмірів) підземного об'єкту зміщені в сторону відносно невеликих площ споруд, що сприяє їх більшій стійкості (хоча ступінь впливу цього фактору може змінюватися в залежності від обраного типу паркінга).

**Наукова новизна та практична значимість**

Розроблені методика та інструментарій вперше дозволили поєднати оцінку впливів і зв'язків факторів геологічного, техногенного та структурно-функціонального типів для аналізу

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

сприятливості міських територій будівництву підземних паркінгів (як з врахуванням економічних факторів будівництва, так і ризиків щодо затребуваності паркінга).

## Висновки

Основою інструментарію обрано модифікований метод морфологічного аналізу, який добре зарекомендував себе у моделюванні проблемних ситуацій, об'єкти яких можуть мати велику кількість альтернативних конфігурацій за рахунок комбінування різних значень параметрів. Він дозволив, спираючись на виділені групи геологічних і техногенних факторів, а також функціональних характеристик ділянок розглянути низку рішень і груп ризиків для оцінки доцільності розвитку підземної урбаністики на розглянутих територіях. Застосована методика дозволяє оцінити різноманітні ризики, імовірність реалізації негативних сценаріїв та додаткові витрати з ними пов'язані ще на передпроектній стадії спорудження підземних об'єктів. Це дає в руки інвесторів та міських державних адміністрацій ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів. Розроблена методика та інструментарій можуть бути використані для побудови стратегічних майстерпланів розвитку великих міст.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Duczynski, G. (2017). Morphological analysis as an aid to organisational design and transformation. *Futures*, 86, Elsevier.
- Johansen, I. (2018). Scenario Modelling with Morphological Analysis, in Ritchey, T., & Arciszewski, T. (Eds.) (2018). *General Morphological Analysis: Modelling, Forecasting, Innovation. Special Issue of Technological Forecasting and Social Change*, 126, Elsevier.
- Pankratova, N., Savchenko, I., Gayko, G., & Kravets, V. (2018). Evaluating Perspectives of Urban Underground Construction Using Modified Morphological Analysis Method. *Journal of*

- Automation and Information Sciences*, 50(10), 34-46.
- Sae-Hyun Ji, & Ahn, J. (2019). Scenario-Planning Method for Cost Estimation Using Morphological Analysis. *Advances in Civil Engineering*, 2019(4), 1-10.
- Savchenko, I. (2016). Estimating the Solution Sensitivity in Application of the Modified Morphological Analysis Method. *Cybernetics and Systems Analysis*, 52(5), 782-790.
- Гайко, Г. (2014). Проблеми системного планування підземного простору великих міст. *Вісник НТУУ «КПІ», серія «Гірництво»*, 25, 35-40.
- Згуровский, М., & Панкратова, Н. (2015). *Системный анализ: проблемы, методология, приложения* (друге видання). Київ: Наукова думка.
- Келемен, Я., & Вайда, З. (1985). *Город под землей*. Москва: Стройиздат.
- Панкратова, Н., & Малафеева, Л. (2014). Информационная модель знаний сценарного анализа. *Проблемы управления и информатики*, 1, 119-128.
- Панкратова, Н., & Савченко, І. (2009). Стратегія застосування методу морфологічного аналізу в процесі технологічного передбачення. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*, 2, 35-44.
- Панкратова, Н., Савченко, І., Гайко, Г., & Кравець, В. (2018). Системний підхід до освоєння підземного простору мегаполісів в умовах невизначеностей та багатофакторних ризиків. *Доповіді Національної академії наук України*, 10, 18-25.
- Радкевич, А., Арутюнян, І., & Сайков, Д. (2018). Аналіз концепції формування рівня конкурентоспроможності підрядних підприємств України в умовах динамічних трансформацій вітчизняного будівельного ринку послуг. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 14, 37-45.
- Ресин, В., & Попков, Ю. (2013). *Развитие больших городов в условиях переходной экономики. Системный подход*. Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ».
- Рябкова, Е. (2014). *Проектирование многоэтажных гаражей и автостоянок*. Хабаровск: Издательство ТОГУ.
- Самедов, А., & Кравець, В. (2011). *Будівництво міських підземних споруд*. Київ: НТУУ «КПІ».

Г. І. ГАЙКО<sup>1\*</sup>, І. А. САВЧЕНКО<sup>2</sup>, І. А. МАТВЕЙЧУК<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Інститут енергосбереження і енергоменеджмента Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», корп. 22, д. 37, просп. Перемоги, Київ, Україна, 03056, тел. (050) 921 94 59, ел. пошта gayko.kpi@meta.ua, ORCID 0000-0001-7471-3431

<sup>2</sup> Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», корп. 35, д. 37, просп. Перемоги, Київ, Україна, 03056,

тел. (050) 387 16 88, ел. пошта savil.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-0921-5425

<sup>3</sup> Інститут енергосбереження і енергоменеджмента Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», корп. 22, д. 37, просп. Перемоги, Київ, Україна, 03056, ел. пошта matveychuk593@gmail.com, ORCID 0000-0002-3262-8762

## ОЦЕНИВАНИЕ УЧАСТКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ПАРКИНГОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

**Цель.** Разработка и тестирование модели, формализующей и сопровождающей процесс принятия решения о целесообразности использования территории (геологической среды) для городского подземного строительства. **Методика.** Модифицированный метод морфологического анализа урбанизированных территорий, метод экспертных оценок. **Результаты.** Разработана и апробирована морфологическая модель и инструментарий оценивания участков строительства подземных объектов, разработаны морфологические таблицы, обоснованы оценки альтернативных состояний и шкалы экспертных оценок, построены матрицы взаимосвязей факторов влияния и альтернатив параметров, с использованием разработанной модели проведено оценивание двух участков территории Киева, предназначенных для строительства подземных паркингов. **Научная новизна.** Впервые разработана морфологическая модель территориального развития подземной урбанистики, которая учитывает как влияние геологической среды, так и факторы структурно-функционального характера, проведено ее тестирование на реальных строительных участках Киева, применен модифицированный метод морфологического анализа для оценки рисков урбанистического освоения подземного пространства, получены системные характеристики городских территорий, которые показывают степень благоприятности строительства подземных паркингов. **Практическая значимость.** Оценивание перспектив подземного строительства на предпроектной стадии, возможности управления рисками развития подземной урбанистики, уменьшение вероятности проектных ошибок из-за неучета определенных факторов или особенностей геологической среды и техногенных воздействий, удобная форма представления информации для принятия управленческих решений в виде таблиц, диаграмм или графиков.

**Ключевые слова:** подземная урбанистика; подземные паркинги; георесурсы; геологическая среда; городское подземное строительство; морфологический анализ; морфологическая модель; параметры влияния

Н. І. НАЙКО<sup>1\*</sup>, І. О. САВЧЕНКО<sup>2</sup>, І. О. МАТВІЙЧУК<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Bd. 37, prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056, tel. (050) 921 94 59, e-mail gayko.kpi@meta.ua, ORCID 0000-0001-7471-3431

<sup>2</sup> Institute for Applied System Analysis, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Bd. 37, prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056, tel. (050) 387 16 88, e-mail savil.ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-0921-5425

<sup>3</sup> Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Bd. 37, prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail matveychuk593@gmail.com, ORCID 0000-0002-3262-8762

## EVALUATING CONSTRUCTION SITES FOR UNDERGROUND PARKING LOTS USING MODIFIED MORPHOLOGICAL ANALYSIS METHOD

**Purpose.** Development and testing of a model that formalizes and supports decision-making process regarding the appropriateness of using territory (geological environment) for urban underground construction. **Methodology.** Modified morphological analysis of urbanized territories, expert evaluation method. **Findings.** A morphological model as a tool set for evaluating construction sites for underground construction was tested; the morphological tables were constructed; the expert estimate scales for alternative values of construction site parameters were justified; the cross-consistency matrices of influence factors and parameter alternatives were evaluated; evaluation of two sites in Kyiv for construction of underground parking lots was performed using the developed model. **Originality.** For the first time a morphological model of territorial development for underground city planning that combines the

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

influence of structural and functional factors with impact of geological environment, was designed and tested on real construction sites in Kyiv; the modified morphological analysis method was applied for risk estimation of urban development of underground space; systemic characteristics of urban territories were obtained, which show the favorability of a site for underground construction of a parking lot. **Practical value.** Evaluating the prospect of underground construction on the pre-project stage, capabilities for risk management of urban underground city space development, diminishing the potential for project flaws caused by neglecting certain factors or specifics of a geological environment and technogenic impacts, convenient form of information generation as tables, charts or graphs.

**Keywords:** underground city space; georesources; geological environment; underground city construction; morphological analysis; morphological model; influence factors

## REFERENCES

- Duczynski, G. (2017). Morphological analysis as an aid to organisational design and transformation. *Futures*, 86, Elsevier. (in English)
- Johansen, I. (2018). Scenario Modelling with Morphological Analysis, in Ritchey, T. & Arciszewski, T. (Eds.) (2018). *General Morphological Analysis: Modelling, Forecasting, Innovation. Special Issue of Technological Forecasting and Social Change*, 126, Elsevier. (in English)
- Pankratova, N., Savchenko, I., Gayko, G., & Kravets, V. (2018). Evaluating Perspectives of Urban Underground Construction Using Modified Morphological Analysis Method. *Journal of Automation and Information Sciences*, 50(10), 34-46. (in English)
- Sae-Hyun Ji, & Ahn, J. (2019). Scenario-Planning Method for Cost Estimation Using Morphological Analysis. *Advances in Civil Engineering*, 2019(4), 1-10. (in English)
- Savchenko, I. (2016). Estimating the Solution Sensitivity in Application of the Modified Morphological Analysis Method. *Cybernetics and Systems Analysis*, 52(5), 782-790. (in English)
- Haiko, H. (2014). Problemy systemnoho planuvannya pidzemnoho prostoru velykykh mist. *Visnyk NTUU «KPI», seriya «Hirnyctvo»*, 25, 35-40. (in Ukrainian)
- Zgurovskij, M., & Pankratova, N. (2015). *Sistemnyj analiz: problemy, metodologija, prilozhenija* (druhe vydannia). Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)
- Kelemen, Ja., & Vajda, Z. (1985). *Gorod pod zemlej*. Moskva: Strojizdat. (in Russian)
- Pankratova, N., & Malafeeva, L. (2014). Informacionnaja model' znaniy scenarnogo analiza. *Problemy upravlenija i informatiki*, 1, 119-128. (in Russian)
- Pankratova, N., & Savchenko, I. (2009). Stratehiia zastosuvannia metodu morfolohichnoho analizu v protsesi tekhnolohichnoho peredbachennia. *Naukovi visti NTUU «KPI»*, 2, 35-44. (in Ukrainian)
- Pankratova, N., Savchenko, I., Haiko, H., & Kravets, V. (2018). Systemnyi pidkhid do osvoiennia pidzemnoho prostoru mehapolisiv v umovakh nevyznachenosti ta bahatofaktornykh ryzykiv. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 10, 18-25. (in Ukrainian)
- Radkevych, A., Arutiunian, I., & Saikov, D. (2018). Analiz kontseptsii formuvannia rivnia konkurentospromozhnosti pidriadnykh pidprijemstv Ukrainy v umovakh dynamichnykh transformatsii vitchyznianoho budivelnogo rynku posluh. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 14, 37-45. (in Ukrainian)
- Resin, V., & Popkov, Ju. (2013). *Razvitie bol'shikh gorodov v uslovijah perehodnoj jekonomiki. Sistemnyj podhod*. Moskva: Knizhnyj dom «LIBROKOM». (in Russian)
- Rjabkova, E. (2014). *Proektirovanie mnogojetazhnyh garazhej i avtostojanok*. Habarovsk: Izdatel'stvo TOGU. (in Russian)
- Samedov, A., & Kravets, V. (2011). *Budivnytstvo miskykh pidzemnykh sporud*. Kyiv: NTUU «KPI». (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 22.04.2019

Прийнята до друку 30.04.2019