

УДК 338.27:339.138:502.131.1:711.4

JEL Classification: M310 O320 Q57 R490

DOI 10.35433/ISSN2410-3748-2024-2(35)-6

**Кофанов Олексій****к.е.н., к.т.н., доцент, старший викладач  
кафедри промислового маркетингу,  
<https://orcid.org/0000-0003-2181-9288>****Кофанова Олена****д.п.н., к.х.н., професор,  
професор кафедри геоінженерії,  
<https://orcid.org/0000-0002-9851-6392>****Чжоу Шисян****студент-магістр кафедри геоінженерії  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»**

## **НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЄКТІВ З ПІДЗЕМНОГО ПАРКУВАННЯ НА ВИСОКОУРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ**

*У статті вивчено світовий досвід щодо переваг та потенційних негативних наслідків, екологічного ризику для здоров'я людей тощо проєктів підземного паркування на високоурбанізованих територіях. Зазначається, що, з одного боку, будівництво паркінгів та інших підземних споруд міської автотранспортної інфраструктури надає змогу звільнити наземний простір від стоянок транспортних засобів і паркінгів, запобігти утворенню заторів на дорогах та зберегти зелені насадження, сквери і парки міста, але, з іншого боку, через надмірні викиди забруднювальних речовин (чадний газ CO, оксиди Нітрогену NO<sub>x</sub> та Сульфур SO<sub>x</sub>, РМ тощо) з відпрацьованими газами двигунів, недосконалість систем вентиляції та шкідливого впливу шуму і вібрації проєктування і будівництво підземних паркінгів і автостоянок, особливо під висотними багатоквартирними будинками або в межах селітебних територій, несе за собою додаткові екологічні ризики, причому, не тільки для здоров'я людей, що мешкають у цих будинках або працюють у паркінгах, а й для довколишнього середовища. У зв'язку з цим авторами запропоновано методiku для наукового обґрунтування екологічності, економічної доцільності та відповідності таких проєктів цілям сталого розвитку, що базується на методі аналізу ієрархії Т. Л. Сааті. Для реалізації підходу авторами розроблено ієрархічну систему критеріїв, створено унікальну програму, реалізовану та візуалізовану у середовищі RStudio. За допомогою багатокритеріального підходу відповідно до проаналізованих критеріїв та наданих експертами пріоритетів на прикладі проєкту модельного підземного паркінгу, розташованого у центрі великого міста, науково доведено екологічність та економічну доцільність реалізації проєкту, а також його відповідність цілям сталого розвитку автотранспортної інфраструктури на високоурбанізованих територіях.*

**Ключові слова:** підземні паркінги, управління автотранспортною інфраструктурою, управління міським підземним простором, сталий розвиток міст, менеджмент

*високоурбанізованих територій, економічний та екологічний розвиток міського підземного простору.*

## **SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND ECONOMIC FEASIBILITY OF UNDERGROUND PARKING PROJECTS IN HIGHLY URBANIZED AREAS**

*The paper studies the global experience concerning the benefits and potential negative consequences, environmental risks to human health, etc. of underground parking projects in highly urbanized areas. It is noted that, on the one hand, the construction of parking lots and other underground facilities of urban road transport infrastructure makes it possible to free up ground space from parking lots, prevent traffic congestion and preserve green spaces, squares and parks of the city, but, on the other hand, due to excessive emissions of pollutants from engine exhaust gases, imperfect ventilation systems, and the harmful effects of noise and vibration, the design and construction of underground parking lots, especially under high-rise apartment buildings or within urban areas, entails additional environmental risks, not only for the health of people living in these buildings or working in parking lots but also for the environment. In this regard, the authors propose a methodology for scientific substantiation of environmental friendliness, economic feasibility, and compliance of such projects with sustainable development goals based on T. L. Saaty's analytic hierarchy process. The authors developed a hierarchical criteria system to implement this approach and created a unique program that was accomplished and visualized in the RStudio environment using the R programming language. With the help of a multi-criteria approach, in accordance with the analyzed criteria and priorities provided by experts, on the example of a model underground parking project located in the center of a large city, the environmental friendliness and economic feasibility of the project, as well as its compliance with the goals of sustainable development of road transport infrastructure in highly urbanized areas, have been scientifically proven.*

**Keywords:** *underground parking lots, management of motor transport infrastructure, management of urban underground space, sustainable urban development, management of highly urbanized areas, economic and environmental development of urban underground space.*

**Постановка проблеми.** Будучи одним з основних компонентів міської автотранспортної інфраструктури (АТІ), підземні паркінги (ПП) та підземні автостоянки відіграють важливу роль у вирішенні проблем паркування та вивільнення тим самим наземного простору на високоурбанізованих територіях. З точки зору структури галузевого ринку індустрія підземного паркування являє собою відносно фрагментовану модель конкуренції через те, що значна кількість різноманітних компаній представлені на цьому ринку [1, 2]. Традиційно це можуть бути великі, всесвітньовідомі компанії, тоді як у сучасних умовах з ними активно конкурують масштабовані стартапи, які поступово і впевнено займають

гідне місце на ринку паркувань завдяки підвищенню їх ефективності та покращенню якості послуг.

Вивчення інноваційних проєктів підземного паркування і необхідність забезпечення сталого розвитку міської АТІ є ключем до підвищення ефективності, економічності та якості послуг з автопаркування. Завдяки розумному плануванню, застосуванню передових технологій і використанню екологічно чистих матеріалів ПП можуть забезпечити більш ефективні, зручні та екологічно дружні рішення для просторової організації міської інфраструктури.

Отже, використання міського підземного простору для будівництва ПП є на сучасному етапі не лише тимчасовим заходом, але й необхідним кроком до захисту міського оточуючого середовища, забезпечення сталого розвитку та обміркованого менеджменту високоурбанізованих територій тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасному високоурбанізованому середовищі люди і особливо автовласники висувають підвищені вимоги до безпеки і комфорту щодо організації паркувальних місць (ПМ). Сучасні ПП, як правило, обладнані не тільки необхідними протипожежними засобами та проходами для екстреної евакуації людей, а й інтелектуальними системами моніторингу руху транспортних засобів (ТЗ), що здатні контролювати ситуацію в режимі реального часу і виявляти та попереджати виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою технологій штучного інтелекту.

Як правило, для більшості паркінгів передбачена система резервування ПМ у мобільному додатку, а також запроваджена автоматична оплата послуг. З точки зору комфорту, важливим є й забезпечення оптимальних систем вентиляції та освітлення. Згідно з опитуваннями, сучасні інтелектуальні ПП можуть збільшити ефективність використання

міського паркувального простору приблизно на 20–30 %, а задоволеність користувачів – приблизно на 20 % [3].

Загальновідомо, що об'єктивні дані про інтенсивність та структуру транспортних потоків (ТП) мають вирішальне значення для планування ПП. Моніторинг і аналіз міських ТП дозволяє зрозуміти логістичні потреби в різних районах міста, а, враховуючи це, – раціонально розташувати і спланувати розміри паркінгів. Наприклад, за даними фахівців [4, 5], у місті середнього розміру інтенсивність руху ТП у комерційному районі, як правило, у 2–3 рази перевищує інтенсивність руху ТЗ у селітебних районах. Тому планування ПП поблизу комерційних центрів має бути набагато щільнішим, а кількість паркомісць, відповідно, більшою. У той самий час, враховуючи об'єктивні динамічні зміни ТП у великих містах, планування ПП повинно мати певну гнучкість. Так, на сьогодні у мегаполісах активно застосовуються спеціальні модульні конструкції, які надають змогу у будь-який час підлаштуватися під необхідну кількість місць для паркування відповідно до реальних потреб [3].

На міжнародному рівні багато країн світу накопичили значний досвід проєктування і будівництва ПП. Так, Німеччина як країна з найбільш розвинутою промисловістю у сфері автомобілебудування робить акцент на підвищеній функціональності ПП та використанні інтелектуальних систем у їх проєктуванні та функціонуванні. Всі підземні автостоянки і паркінги у Німеччині обладнані вдосконаленими високоефективними системами вентиляції задля забезпечення циркуляції повітря, зменшення запаху, вологості та шкідливого впливу забруднювальних речовин.

Окрім того, на парковках Німеччини широко використовуються інтелектуальні системи управління. За допомогою комп'ютерів та спеціальних світлових індикаторів транспортні засоби чітко керуються на вільні ПМ, що значно покращує ефективність управління паркуванням. Згідно зі статистичними даними, середній час паркування ТЗ на такому

інтелектуальному ПП великого міста Німеччини приблизно на 20 % коротший за час паркування на звичайних, традиційних паркінгах [3, 6].

Через дефіцит земельних ресурсів Японія надає великого значення використанню саме міського підземного простору. Японські ПП компактно спроектовані; на багатьох паркувальних майданчиках використовуються багат шарові тривимірні структури, а ТЗ паркують та витягують за допомогою спеціально спроектованого механічного підйомного обладнання. Крім того, ПП Японії спроектовано з урахуванням вимог сейсмостійкості та гідроізоляції для забезпечення безпеки людей у разі стихійних лих та надзвичайних ситуацій. У деяких сейсмонебезпечних районах для будівництва ПП використовують спеціальні сейсмостійкі будівельні матеріали і конструкції, які здатні витримувати землетруси певної магнітуди. Згідно з літературними даними [7, 8], ураження ПП з армованими конструкціями під час землетрусів приблизно на 30 % менше, ніж звичайних будівель.

Підземні паркінги у Сполучених Штатах Америки зосереджені на гуманізованому дизайні та концепціях захисту довколишнього середовища, його сталого розвитку. ПП в Америці обов'язково обладнані енергозберігаючими лампами, а також інтелектуальними системами управління для регулювання яскравості освітлення приміщень відповідно до реальних умов задля зменшення споживання енергії. Так, після впровадження інтелектуальної системи освітлення у ПП декількох комерційних центрів США споживання енергії значно скоротилося [9].

Багато паркінгів і автостоянок обладнано спеціальними зонами для зарядки сучасних електромобілів. Так, в окремих районах Великої Британії при використанні електромобіля та/або ТЗ на газовому обладнанні вартість паркування може бути знижена вдвічі, а власники мотоциклів можуть розраховувати навіть на безкоштовне паркування [10].

Підземні паркінги у Нідерландах проєктуються таким чином, щоб органічно вписуватися у міський ландшафт. В'їзди та виїзди з таких паркінгів мають унікальний дизайн, доповнюючи архітектуру міста і міський простір, перетворюючись на органічну складову АТІ. У той самий час, проєкти ПП у Нідерландах передбачають обов'язковий збір і повторне використання дощової води, яка збирається через підземні дренажні системи і використовується, як правило, для миття ТЗ або для поливу зелених насаджень. Зокрема, під Амстердамом створено практично підземне місто-паркінг з мийками, автомагазинами, басейнами, спортивними залами, розважальними центрами тощо [11].

У Бельгії передбачено велику кількість так званих «перехоплюючих» парковок у великих містах, причому, міський простір розподілено на три основні зони:

- 1) зона з низькою щільністю паркування, де надаються послуги з безкоштовного паркування;
- 2) зона безкоштовного паркування тільки для населення міста;
- 3) зона найбільш щільного паркування, що має жорсткі обмежувальні заходи та передбачає платні послуги паркування для всіх груп населення [12, 13].

У високоурбанізованих районах Гонконгу, де вкрай не вистачає вільних від забудови земельних ресурсів, ПП проєктують, використовуючи багат шарові структури задля ефективного використання вертикального простору і збільшення кількості паркувальних місць. Водночас за рахунок раціонального планування смуг для транспортування автомобілів і оптимізації розташування ПМ зменшуються розміри проїзних зон і покращуються таким чином умови використання доступного простору. За оцінками фахівців, оптимізуючи ПП, можна досягти збільшення кількості ПМ на одиницю площі приблизно на 30 % порівняно з традиційними конструкціями паркінгів [14].



У Сінгапурі підземний простір ефективно використовується для будівництва автостоянок. Вони, як правило, тісно інтегровані з вузлами громадського транспорту, полегшуючи пересадку громадян і підвищуючи ефективність подорожей. Водночас внутрішні транспортні потоки ПП мають бути простими і зрозумілими та уникати перетину руху ТЗ. Дослідження показали, що оптимізована організація руху ТП може скоротити час руху ТЗ приблизно на 25 % [15].

У Парижі проектування ПП включено в загальну систему міського планування, яка не лише надає послуги з паркування, а й з'єднується з комерційними об'єктами, культурними центрами, навчальними закладами тощо, утворюючи єдиний багатофункціональний і багаторівневий міський простір. Аналогічна ситуація спостерігається й у ділових районах Пекіна, де ПП з'єднані з торговими центрами, офісними будівлями тощо, забезпечуючи людям зручність для покупок і офісної роботи. Щоб уникнути заторів, при плануванні в'їзду та виїзду з ПП враховуються існуючі у містах ТП. Так, у центральних районах в'їзди і виїзди з паркінгів зазвичай з'єднують з головними дорогами, встановлюючи спеціальні буферні зони та відповідні дорожні знаки задля забезпечення безпеки паркування.

З прискоренням процесів урбанізації Китаю індустрія ПП бурхливо розвивається, і вже наприкінці 2022 року загальна кількість паркувальних місць у ПП країни перевищила 50 мільйонів, а до 2025 року очікується, що їх кількість сягне 70 мільйонів [16]. Наразі в Китаї існує понад 300 підземних паркінгів різної конструкції, з яких більше 50 % розташовані в містах першого та другого рівня. При цьому середньорічні темпи зростання ПП стабільно зберігаються на рівні 15 %, що свідчить про сталий розвиток галузі. І, згідно з прогнозами, до 2025 року масштаб розвитку індустрії підземного паркування в Китаї продовжить збільшуватися, як і в інших країнах світу [16, 17].

Отже, політика у сфері організації паркування на високоурбанізованих територіях скерована на скорочення вуличних ПМ за рахунок введення в дію саме ПП. У той самий час, деякі вчені і фахівці-практики зазначають, що підземні паркінги й автостоянки створюють значні екологічні ризики для здоров'я людей (викиди забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів ТЗ, шум, вібрація тощо), особливо в разі, якщо ці ПП розташовані під чи поряд з житловими будинками або у густонаселених селітебних районах міста.

Так, стаття авторів [18] акцентує увагу на значному погіршенні якості повітря у ПП через високі концентрації твердих часток пилу й сажі (PM) та летких органічних сполук, які викидаються ТЗ під час простою або руху на низьких швидкостях. Автори зазначають, що вплив цих забруднювальних речовин на органи дихання, особливо серед працівників ПП і дітей, залишається недооціненим. Автори розробили тривимірну динамічну модель дифузії забруднювачів, засновану на даних моніторингу 116 компонентів у різних ПП великого міста на півночі Китаю. Отримані результати довели, що забруднення повітряного середовища у підземних паркінгах створює суттєві ризики для здоров'я людей, які проводять у них достатньо тривалий час.

Своєю чергою, колектив дослідників [19] висвітлює проблему недостатньої ефективності застосування природної вентиляції у ПП, яка, як правила, не здатна повністю впоратися з видаленням забруднювачів із підземного простору. Це, у свою чергу, створює потенційний ризик для здоров'я персоналу та інших людей, які знаходяться на території ПП. Авторами проведено польові вимірювання концентрацій забруднювачів повітря підземного простору та проаналізовано їх вплив на людей у 11-ти комерційних ПП та 3-х ПП у висотних житлових будинках з природною вентиляцією у м. Сіань (Китай).



Отримані дослідниками дані свідчать, що концентрації забруднювальних речовин є особливо високими вранці та після обіду, причому, як у комерційних, так і в житлових ПП. Тому автори дійшли висновку, що природна вентиляція є недостатньою для забезпечення прийнятної якості повітря у ПП. Це є особливо важливим для густонаселених районів міста, де інтенсивне використання підземних об'єктів призводить до додаткового забруднення атмосферного повітря, підвищуючи екологічні ризики для здоров'я людей, які перебувають у ПП або мешкають у будівлі, де вони розташовані.

У роботі [20] звертається увага на обмежену кількість даних щодо ризиків для здоров'я, пов'язаних із перебуванням людей у ПП. Автори зазначають, що вміст таких токсикантів, як чадний газ CO, оксиди Нітрогену NO<sub>x</sub> і Сульфору SO<sub>x</sub>, дрібнодисперсні частинки пилу і сажі (PM) досить часто перевищує гранично допустимі межі, а хронічний вплив ароматичних вуглеводнів досягає своїх порогових значень. При цьому ризик його канцерогенного впливу може перевищувати рівень 10<sup>-5</sup>. Дослідження показали, що концентрація PM також може суттєво перевищувати рекомендовані ВООЗ щодо якості повітряного середовища.

Водночас, дослідники [21] зазначають, що через закритий простір і певну специфіку мікроклімату ПП мають підвищену схильність до різноманітних надзвичайних ситуацій, таких як пожежі, обвали, отруєння, затоплення тощо. Це робить підземні об'єкти значно небезпечнішими порівняно з наземними спорудами, що потребує особливої уваги до їхньої безпеки, у тому числі й екологічної. Автори акцентують також увагу на тому, що специфічні фізичні умови у ПП, як-от якість повітряного середовища, тепловий комфорт, освітлення тощо, часто потребують додаткового штучного регулювання. Так, для нормального функціонування підземних об'єктів необхідним є значне споживання енергії, зокрема, на відповідний рівень освітлення та штучну вентиляцію. При цьому відомо,

що енерговитрати на освітлення можуть складати близько 35 % загальних енерговитрат будівлі.

Отже, навіть враховуючи певні екологічні переваги від звільнення наземного простору, ПП можуть виступати джерелом серйозних ризиків для довколишнього середовища і здоров'я людей, оскільки, на думку авторів, перебування в них пов'язане з ризиками гострих і хронічних захворювань. А внаслідок підвищеного енергоспоживання ПП чинять непрямий, але додатковий вплив на довкілля через викиди парникових газів та інших шкідливих речовин.

**Метою даної статті** є наукове обґрунтування екологічності, економічності та відповідності цілей сталого розвитку міст за рахунок більш широкого використання їх підземного простору задля підвищення ефективності функціонування і менеджменту міської автотранспортної інфраструктури, збільшення кількості місць для паркування транспортних засобів, забезпечення підвищення якості послуг з паркування.

**Виклад основного матеріалу.** Організація і діяльність з надання послуг тимчасового зберігання ТЗ на ПП і автостоянках в Україні на сучасному етапі розвитку перебуває у стані становлення, особливо враховуючи те, що, відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2030 року [22], саме будівництво паркінгів і стоянок для автомобілів віднесено до пріоритетних напрямків розвитку міської АТІ. Ринок послуг з утримання ПП та забезпечення зберігання на них ТЗ є регіональним; його основу становить «...система взаємовідносин, що виникають у межах певної території та які пов'язані з виробництвом, збутом і споживанням послуг паркування ТЗ, вплив на які справляють організаційні, економічні, соціальні, правові, інвестиційні та інші фактори регіонального характеру» [23]. Успішні рішення з інтелектуального («розумного») паркування впроваджено в Києві, Дніпрі та Львові, проте для більшості українських міст організація ПП представляє досить серйозну проблему [3, 4].

Отже, міське планування і теорія руху ТЗ забезпечують важливе наукове підґрунтя для проектування сучасних інтелектуальних ПП. При цьому необхідним є не тільки врахування існуючою АТІ у місті, а й місцерозташування ПП, а також призначення території для його будівництва (діловий квартал, селітебна територія, передмістя тощо). Так, при розміщенні ПП і майданчиків для паркування на вулицях міста, крім цього, необхідно також враховувати:

- наявність і характеристики комунікацій та інженерних мереж, споруд тощо, у тому числі й тих, що забезпечують менеджмент мікроклімату, вентиляцію, гідроізоляцію, водо- і тепlopостачання, каналізацію, контроль загазованості, а також системи пожежогасіння та димовидалення, зв'язку, освітлення тощо;

- умови для забезпечення безпеки дорожнього руху, зручність в'їзду та виїзду (вони розташовуються окремо), достатня для всіх типів ТЗ висота стель і ширина в'їздів та виїздів, ПМ тощо;

- параметри поперечних і поздовжніх ухилів;

- наявність, тип та розташування зелених насаджень;

- стан покриття проїзної частини та ін.

На рівні зонування території міста вважається за необхідне передбачати місця зберігання автотранспорту таким чином, щоб забезпечити 100 % постійного зберігання всього перспективного парку легкових ТЗ та ще плюс 15...25 % «гостьових» машино-місць [24].

Суттєві трансформації і сучасні тренди, що спостерігаються в економіках практично всіх країн світу, вимагають нових підходів до вирішення соціально-економічних та екологічних проблем. В Україні, незважаючи на складні економічні умови та бойові дії, активно впроваджуються принципи сталого збалансованого розвитку на основі захисту довколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів і мінімізації екологічних ризиків для

здоров'я людей.

Своєю чергою, у сучасних ринкових умовах сталому і збалансованому розвитку міської АТІ приділяється значна увага. У зв'язку з цим авторами розроблено інноваційну методику наукового обґрунтування й кількісного оцінювання ступеня екологічності та економічної доцільності реалізації проєктів з планування і будівництва ПП задля забезпечення сталого розвитку високоурбанізованих середовищ.

Методологія створена з використанням методу аналізу ієрархій Т. Л. Сааті (МАІ), який є комплексною системою прийняття управлінських рішень на основі поділу складних проблем на чітку ієрархічну структуру. Цей ієрархічно структурований підхід до прийняття рішень реалізує і якісний, і кількісний аналіз на основі обробки думок експертів [25, 26]. Підхід широко застосовується у різних галузях промисловості, сільського господарства, а також у творчій індустрії, оскільки він надає змогу оцінити й порівняти численні критерії щодо оцінювання певних процесів і явищ, сприяючи прийняттю науково обґрунтованих і виважених рішень.

Однією з унікальних особливостей МАІ є те, що після поділу складних проблем на менші частини експерти (або групи експертів), відповідно до їхньої професійної думки, призначають пріоритет кожному з обраних критеріїв на основі його відносної важливості. Таким чином, багатокритеріальний аналіз на основі МАІ може бути ефективно застосований для оцінювання альтернатив планування й будівництва ПП, наприклад, для диверсифікації ризиків і розподілу ресурсів між кількома проєктами ПП відповідно до проаналізованих критеріїв та наданих експертами пріоритетів, а також для доведення екологічності та економічної доцільності певних планувальних рішень.

Так, на думку фахівців [27], підхід є ефективним, доволі точним і надає змогу певним чином мінімізувати й оптимізувати обчислювальний процес, що робить його особливо зручним для прийняття виважених,

науково обґрунтованих управлінських рішень. У таких дослідженнях, як правило, рекомендується обирати від 3-х до 5-ти експертів. Це забезпечує оптимальний баланс між різноманіттям їхніх точок зору і уникненням надмірної складності і непослідовності думок.

Задля реалізації запропонованої методики авторами розроблено ієрархічну систему критеріїв оцінювання ступеня екологічності, економічної доцільності, а також відповідності проєктів міських ПП цілям сталого розвитку. Із застосуванням мови програмування R створено програму у форматі YAML з метою підвищення ефективності менеджменту міського підземного простору. Програма заснована на пакеті 'ahr' R [28], реалізованому через програмне забезпечення RStudio.

Отже, важливо описати основні особливості підходу MAI, які роблять його придатним і зручним для нашого дослідження. Попередні дослідження авторів [29–31] підтверджують ефективність використання математичних і кількісних підходів для оцінювання параметрів, пов'язаних як з екологічною безпекою проєктів, їх сталим розвитком тощо, так й економічною доцільністю ефективного використання міського підземного простору.

Структура MAI, розроблена для прийняття складних рішень, включає аналіз багатьох критеріїв, які порівнюються на основі їх відносної важливості. Відповідні критерії прийняття рішень організовано в ієрархію, яка складається з цілі зверху, за якою слідує критерії, підкритерії і альтернативи на нижчих рівнях. Такий алгоритм допомагає знайти рішення складної проблеми за рахунок її розбиття на дрібніші складові, які й оцінюють експерти.

Таким чином, MAI використовує попарні порівняння для оцінки відносної важливості різних критеріїв і альтернатив. Відповідальні за прийняття рішень експерти порівнюють кожну з пар елементів і відзначають, який з цих елементів є найбільш важливим для прийняття

відповідного рішення, надаючи при цьому йому певне числове значення для кількісної оцінки. Після обчислення вагових коефіцієнтів, наданих експертами, МАІ поєднує їх задля отримання зваженої оцінки для кожної альтернативи, допомагаючи прийняти остаточне рішення.

Порівняння проводиться за дев'ятибальною шкалою Т. Л. Сааті, яка «присвоює» кожному критерію певне числове значення інтенсивності переваги, де «1» означає однакову важливість, а «9» – вказує на надзвичайну перевагу одного з елементів над іншим [25]. Зазначимо, що найважливішим показником правильного застосування методології, заснованої на МАІ, є показник неузгодженості (коефіцієнт узгодженості), який детально описаний у [25]. Він вказує на те, наскільки послідовними є порівняння. При цьому щоб отримані результати можна було вважати надійними, показник неузгодженості повинен бути меншим за 10 %.

Запропонований метод може бути добре візуалізований, наприклад, за допомогою схем і таблиць, що, своєю чергою, надає експертам змогу побачити взаємозв'язки між різними складовими, а також виявити певні закономірності й тенденції.

Авторську методику перевірено на прикладі проєкту модельного ПП, що розташований у центрі великого міста України, а запропонована нами ієрархічна система критеріїв містить такі складові:

*1. Економічна доцільність реалізації проєкту ПП:*

1.1. Забезпечення доступу до якісних послуг з паркування шляхом розвитку додаткової автотранспортної інфраструктури і підвищення безпеки руху транспортних засобів і пішоходів в центральній частині міста;

1.2. Створення мережі зарядних станцій для електромобілів з урахуванням сучасних тенденцій збільшення кількості електромобілів;

1.3. Потенціал для залучення інвестицій, очікувана рентабельність та стійкість бізнес-моделі.



## 2. Екологічна безпека підземного паркінгу:

2.1. Ефективність споживання енергії;

2.2. Раціональність використання ресурсів та поводження з відходами;

2.3. Вплив на компоненти довкілля (атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти тощо) та здоров'я людей.

## 3. Відповідність проєкту ПП цілям сталого розвитку:

3.1. Покращення ефективності використання наземного і підземного простору з вирішенням проблем паркування на густонаселених високоурбанізованих територіях;

3.2. Удосконалення міської автотранспортної інфраструктури та логістики, формування унікального міського архітектурного ландшафту;

3.3. Створення комфортного громадського простору, оновлення й озеленення міста;

3.4. Зменшення викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин завдяки збільшенню швидкості руху транспортних засобів і пропускної спроможності автомагістралей міста.

Ієрархічна структура критеріїв МАІ, яка є основою для оцінювання ступеня екологічності проєкту ПП та економічної доцільності його реалізації, встановлення відповідності проєкту цілям сталого розвитку представлена у табл. 1. При цьому на вершині ієрархічної системи стоїть головна мета – оцінити екологічність, економічну доцільність та відповідність цілям сталого розвитку реалізації зазначеного проєкту ПП.

На нижньому рівні ієрархічної системи є дві альтернативи. Одна з них стверджує, що проєкт ПП відповідає екологічним критеріям, і його реалізувати доцільно, а інший стверджує, що проєкт ПП не відповідає принципам екологічності та цілям сталого розвитку, тому його реалізація недоцільна. Таким чином, остаточним рішенням буде вибір однієї з цих альтернатив за результатами математичної обробки експертних висновків

за запропонованою нами методикою. Отже, приклад реалізації авторської методики за багатокритеріального підходу у програмному середовищі RStudio наведено на рис. 1. Отримані результати на основі експертної оцінки екологічності, економічності та відповідності цілям сталого розвитку аналізованого проекту ПП надано в табл. 1.

Таблиця 1.

Результати експертних оцінок за методом аналізу ієрархій для досліджуваного проекту міського підземного паркінгу

Мета, критерії та підкритерії	Вагове значення	Доцільно реалізувати проєкт ПП	Недоцільно реалізувати проєкт ПП
<i>Мета:</i> оцінити екологічність, економічну доцільність та відповідність цілям сталого розвитку реалізації зазначеного проєкту ПП	100.0%	77.0%	23.0%
<b>1. Економічна доцільність реалізації проєкту ПП</b>	48.4%	40.8%	7.6%
1.1. Забезпечення доступу до якісних послуг з паркування шляхом розвитку додаткової автотранспортної інфраструктури і підвищення безпеки руху транспортних засобів і пішоходів в центральній частині міста	31.4%	26.9%	4.6%
1.2. Створення мережі зарядних станцій для електромобілів з урахуванням сучасних тенденцій збільшення кількості електромобілів	13.5%	11.0%	2.5%
1.3. Потенціал для залучення інвестицій, очікувана рентабельність та стійкість бізнес-моделі	3.4%	2.9%	0.5%
<b>2. Екологічна безпека підземного паркінгу</b>	26.9%	15.0%	11.9%
2.1. Ефективність споживання енергії	18.0%	12.0%	6.0%
2.2. Раціональність використання ресурсів та поводження з відходами	6.0%	0.9%	5.1%
2.3. Вплив на компоненти довкілля (атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти тощо) та здоров'я людей	3.0%	2.2%	0.8%
<b>3. Відповідність проєкту ПП цілям сталого розвитку</b>	24.7%	21.2%	3.5%
3.1. Покращення ефективності використання наземного і підземного простору з вирішенням проблем паркування на густонаселених високоурбанізованих територіях	14.3%	12.7%	1.6%

Мета, критерії та підкритерії	Вагове значення	Доцільно реалізувати проєкт ПП	Недоцільно реалізувати проєкт ПП
3.2. Удосконалення міської автотранспортної інфраструктури та логістики, формування унікального міського архітектурного ландшафту	5.9%	4.9%	1.0%
3.3. Створення комфортного громадського простору, оновлення й озеленення міста	2.8%	2.2%	0.5%
3.4. Зменшення викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин завдяки збільшенню швидкості руху транспортних засобів і пропускної спроможності автомагістралей міста	1.7%	1.3%	0.4%

**Примітка.** Кольорове забарвлення вказує на значення результату: чим більшим є значення параметра, тим інтенсивнішим буде забарвлення.

*Джерело:* результати розрахунків, отримані за авторською методикою з використанням розробленої програми, реалізованої у середовищі програмування RStudio.

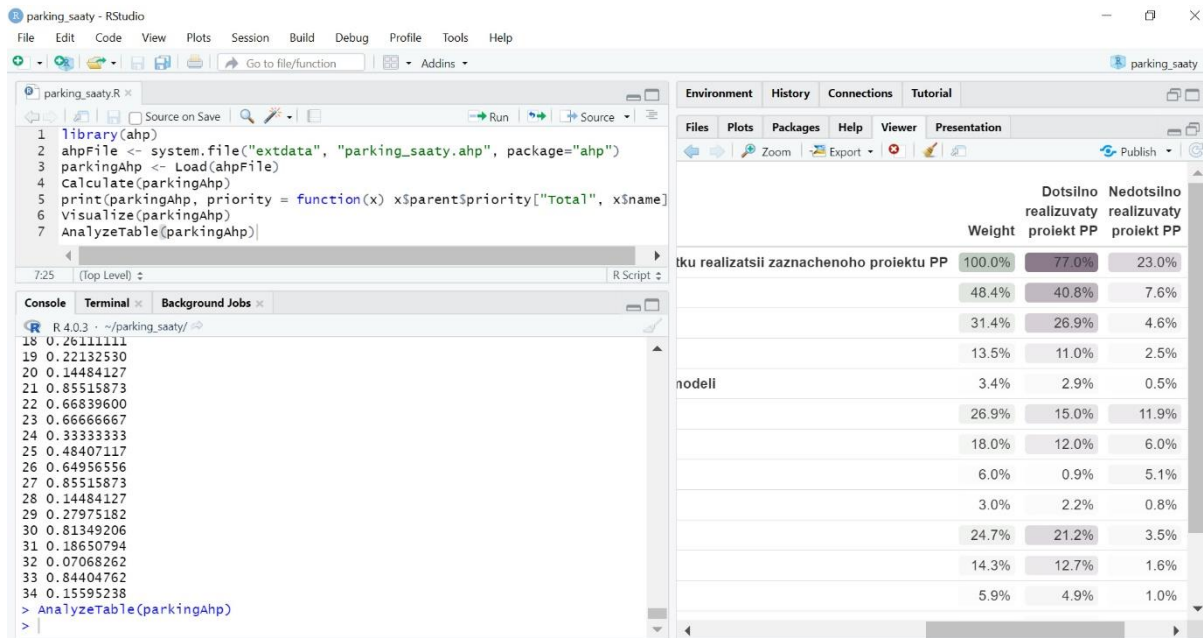


Рис. 2. Реалізація авторської програми з використанням пакету 'ahp' R у середовищі RStudio.

*Джерело:* розроблено та візуалізовано авторами.

За експертними оцінками встановлено, що найбільший вплив на доцільність реалізації досліджуваного проекту ПП має перший критерій з відносною «вагою» 48,4 %, другий має відносну «вагу» 26,9 %, і третій – 24,7 %. Отже, результати обчислень за МАІ надають змогу дійти висновку, що досліджуваний проект ПП є екологічно дружнім, економічно доцільним та відповідає цілям сталого розвитку (альтернатива «ДОЦІЛЬНО» отримана з вірогідністю 77,0 %, що є вищим за межове значення 75,0 %). Причому, серед цих 77,0 % внесок першого критерію становить 40,8 %, другого – 15,0 %, а третього – 21,2 %. Важливо також зазначити, що показник неузгодженості за всіма розглянутими критеріями становить менше 10 %, що свідчить про точність і надійність отриманих результатів.

При цьому аналіз даних табл. 1 надає змогу дійти висновку, що найбільш важливим критерієм, що має, на думку експертів, найбільшу відносну «вагу» є підкритерій 1.1 «Забезпечення доступу до якісних послуг з паркування шляхом розвитку додаткової автотранспортної інфраструктури і підвищення безпеки руху транспортних засобів і пішоходів в центральній частині міста» – 31,4 %.

Отже, за методом МАІ за участю спеціально відібраних фахівців-експертів було проведено багатокритеріальне оцінювання рівня екологічності, економічної доцільності та відповідності аналізованого проекту ПП цілям сталого розвитку, що, своєю чергою, надало можливість узгодити думки експертів і дійти до науково обґрунтованого висновку щодо доцільності проектування та будівництва ПП на високоурбанізованих територіях з метою вдосконалення міської автотранспортної інфраструктури на основі впровадження екологічно дружніх рішень.

**Висновки.** Таким чином, виходячи із вищезазначеного, доходимо таких висновків:

1. Проведений аналіз світового досвіду щодо проектування та будівництва ПП на високоурбанізованих територіях показав

перспективність таких архітектурних рішень з точки зору вдосконалення міської АТІ, висвітив при цьому й певні екологічні ризики для здоров'я людей і довкілля через надмірні викиди забруднювальних речовин (чадний газ CO, оксиди Нітрогену NO<sub>x</sub> та Сульфур SO<sub>x</sub>, дрібнодисперсні частинки пилу і сажі PM тощо) з відпрацьованими газами двигунів, недосконалість систем вентиляції та шкідливий вплив шуму і вібрації.

2. Для наукового обґрунтування екологічності, економічної доцільності та відповідності проєктів з підземного паркування авторами запропонована методика багатокритеріального оцінювання з використанням МАІ Т. Л. Сааті; створено унікальну програму у форматі YAML та реалізовано її у програмному середовищі RStudio.

3. Для реалізації запропонованого підходу розроблено ієрархічну систему критеріїв, за допомогою яких відповідно до наданих експертами пріоритетів на прикладі проєкту модельного підземного паркінгу, розташованого у центрі великого міста, науково доведено екологічність та економічну доцільність реалізації проєкту, а також його відповідність цілям сталого розвитку автотранспортної інфраструктури на високоурбанізованих територіях.

4. На основі висновків експертів та за допомогою авторської програми було підраховано, що найбільший вплив на реалізацію проєкту має критерій «Економічна доцільність реалізації проєкту ПП» з відносною «вагою» 48,4 %, критерій «Екологічна безпека підземного паркінгу» має відносну «вагу» 26,9 %, і критерій «Відповідність проєкту ПП цілям сталого розвитку» – 24,7 %. При цьому найбільш значимим, на думку експертів, підкритерієм виявився підкритерій 3.1. «Забезпечення доступу до якісних послуг з паркування шляхом розвитку додаткової автотранспортної інфраструктури і підвищення безпеки руху транспортних засобів і пішоходів в центральній частині міста» з відносною «вагою» 31,4 %.

5. Результати обчислень підтвердили екологічність, економічну доцільність та відповідність проєкту цілям сталого розвитку з альтернативою «ДОЦІЛЬНО» з вірогідністю на рівні 77,0 %, що є вищим за межове значення 75,0 %. Причому, серед цих 77,0 % внесок першого критерію становить 40,8 %, другого критерію – 15,0 %, а третього критерію – 21,2 %. Отже, запропонована методика не тільки надає змогу поєднувати кількісні та якісні характеристики досліджуваного проєкту, а й підтверджує його екологічну дружність.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Ігнатенко О. С., Нога С. Р., Манзуля А. А. Правове регулювання розвитку ринку транспортних послуг в містах України. *Збірник тез «Правові засади організації та здійснення публічної влади»*. 2022. С. 150–153.
2. Лудченко Я. О., Третьяков І. М. Конкурентні умови формування ринку міських пасажирських перевезень. *Вісник Національного транспортного університету*. 2011. 22. С. 181–197.
3. Чубарова Д. С. Сучасні вимоги до створення паркінгів з урахуванням новітніх тенденцій проектування. Монографія Архітектура, освіта і наука в Україні і світі: досвід і перспективи розвитку. Рівне: ФОРМАТ-А, 2019. С. 203–209.
4. Пекарчук О. П. Тенденції організації паркінгів у житловому середовищі. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2012. 728. С. 79–86.
5. Вотінов М. А., Чубарова Д. С. Специфіка та перспективні тенденції формування архітектурного середовища паркінгів в міському середовищі. *Development of modern science: the experience of European countries and prospects for Ukraine: monograph*. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2019. P. 617–640.
6. Scheiner J., Faust N., Helmer J., Straub M., Holz-Rau Ch. What's that garage



for? Private parking and on-street parking in a high-density urban residential neighbourhood. *Journal of Transport Geography*. 2020. 85. P. 102714. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102714>.

7. Niira K., Shigeno K., Kikuchi M., Inoue T. Disaster-prevention measures for underground space to deal with large-scale earthquakes and intensified flood disasters in Japan. *Procedia Engineering*. 2016. 165. P. 224–232.

8. Kishii T. Utilization of underground space in Japan. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. 55. P. 320–323.

9. Davis A. Y., Pijanowski B. C., Robinson K., Engel B. The environmental and economic costs of sprawling parking lots in the United States. *Land Use Policy*. 2010. 27(2). P. 255–261.

10. Chen T., Zhang X. P., Wang J., Li J., Wu C., Hu M., Bian H. A review on electric vehicle charging infrastructure development in the UK. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*. 2020. 8(2). P. 193–205.

11. Gilderbloom J. I., Hanka M. J., Lasley C. B. Amsterdam: planning and policy for the ideal city? *Local Environment*. 2009. 14(6). P. 473–493.

12. Coene A. A. Car parks have been brought into action as key buildings in a strategy. *The Urban Project: Architectural Intervention in Urban Areas*. 2009. 39. P. 79–88.

13. Ilsbroekx R., Van Acker M. Automotive urban landscapes: Exploring public programmes for adaptive reuse of underground car parks. *Journal of Landscape Architecture*. 2021. 16(3). P. 24–39.

14. Wallace M. I., Ng K. C. Development and application of underground space use in Hong Kong. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. 55. P. 257–279.

15. Zhou Y., Zhao J. Assessment and planning of underground space use in Singapore. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. 55. P. 249–256.

16. Zhang Y., Yao H., Li L. Comprehensive optimization research of underground parking lot based on BIM technology – taking the renovation

project of underground parking lot of X Apartment in Zhengzhou as an example. *Urban Development*. 2023. № 10. P. 107–109.

17. Shan Z. Design scheme of underground comprehensive pipe corridor for parking lot project. *China High-tech*. 2021. № 14. P. 84–85.

18. Zhang L, Wu W., Wang J., Wang Y., Zhang Y., Wang N., Yuan Sh., Li J., Xian W., Deng L., Fan W. Vocs pollution and respiratory exposure in commercial and residential underground parking garages. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. 136. P. 104472. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104472>.

19. Wang J, Huang Y, Bo Y, Zhang Y, Zhang L. Air pollution characteristics and human health risk assessment of underground parking garages in Xi'an, China. *Indoor and Built Environment*. 2023. 32(4). P. 632–651. URL: <https://doi.org/10.1177/1420326X221131951>

20. Glorennec P., Bonvallet N., Mandin C., Goupil G., Pernelet-Joly V., Millet M., Filleul L., Le Moullec Y., Alary R. Is a quantitative risk assessment of air quality in underground parking garages possible? *Indoor Air*. 2008. 18(4). P. 283. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2008.00529.x>

21. Cao Sh.-J., Leng J., Qi D., Kumar P., Chen T. Sustainable underground spaces: Design, environmental control and energy conservation. *Energy and Buildings*. 2022. 257. P. 111779. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111779>.

22. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. *Верховна Рада України* : веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 12.09.2024).

23. Звіт Антимонопольного комітету України за результатами дослідження ринку послуг утримання майданчиків для паркування та забезпечення зберігання на них транспортних засобів. Схвалено Антимонопольним комітетом України 24 листопада 2016 року протокол № 88 2016 рік : веб-сайт.

URL: [https://amcu.gov.ua/storage/app/sites/1/imported\\_content/5d690f444cecd.pdf](https://amcu.gov.ua/storage/app/sites/1/imported_content/5d690f444cecd.pdf)  
(дата звернення: 12.09.2024).

24. Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навч. дисц. «Архітектурне проектування: наземний гараж для легкових автомобілів на 150 машино-місць». *Харківський нац. ун-т міського господарства ім. О. М. Бекетова* : веб-сайт. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/>

57854/1/2021\_%D0%9F%D0%95%D0%A7\_82%D0%9C\_%D0%93%D0%90%D0%A0%D0%90%D0%96.pdf (дата звернення: 10.08.2024).

25. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. New York, Springer. 2013. 363 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7>

26. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making. In: Greco S., Ehrgott M., Figueira J. (eds). Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science. New York, Springer. 2016. 233 p. URL: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_10)

27. Kyrylych T., Povstenko Y. Multi-Criteria analysis of startup investment alternatives using the hierarchy method. *Entropy*. 2023. 25(5). 723. URL: <https://doi.org/10.3390/e25050723>

28. The Comprehensive R Archive Network *Analytic Hierarchy Process ahp* : веб-сайт. URL: <https://cran.microsoft.com/snapshot/2016-08-05/web/packages/ahp/index.html> (дата звернення: 11.08.2024).

29. Kofanov O., Kofanova O., Chepel A., Kriuchkov A., Rabosh I., Zhukova N. Modeling of the car traffic air pollution on the territories neighboring multi-level interchanges. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2022. 78(4). P. 17–38. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.arem.78.4.31583>

30. Kofanov O., Zozul'ov O. Successful development of startups as a global trend of innovative socio-economic transformations. *International and Multidisciplinary Journal of Social Sciences*. 2018. 7(2). P. 191–217. URL: <https://doi.org/10.17583/rimcis.2018.3576>
31. Kofanov O., Kofanova O., Tkachuk K., Tverda O., Shostak I. Enhancement of the market attractiveness and success of startups on the circular economy and sustainability principles. *Agricultural and Resource Economics*. 2024. 10(2). P. 167–189. URL: <https://doi.org/10.51599/are.2024.10.02.07>.

### REFERENCES

1. Ihnatenko, O. S., Noha, S. R., Manzulia, A. A. (2022). Pravove rehuliuвання rozvytku rynku transportnykh posluh v mistakh Ukrainy [Legal regulation of the development of the transport services market in the cities of Ukraine]. Zbirnyk tez «Pravovi zasady orhanizatsii ta zdiisnennia publichnoi vlady». S. 150–153 [In Ukrainian].
2. Ludchenko, Ya. O., Tretiakov, I. M. (2011). Konkurentni umovy formuvannia rynku miskykh pasazhyrskykh perevezen [Competitive conditions for the formation of the market of urban passenger transportation]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. 22. S. 181–197 [In Ukrainian].
3. Chubarova, D. S. (2019). Suchasni vymohy do stvorennia parkinhiv z urakhuvanniam novitnikh tendentsii proektuvannia. Monohrafiia Arkhitektura, osvita i nauka v Ukraini i sviti: dosvid i perspektyvy rozvytku [Modern requirements for the creation of parking lots taking into account the latest design trends. Monograph Architecture, Education and Science in Ukraine and the World: Experience and Prospects for Development]. Rivne: FORMAT-A. S. 203–209 [In Ukrainian].
4. Pekarchuk, O. P. (2012). Tendentsii orhanizatsii parkinhiv u zhytlovomu seredovyschi [Tendencies in the organization of parking lots in the residential environment]. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». 728.

S. 79–86 [In Ukrainian].

5. Votinov, M. A., Chubarova, D. S. (2019) Spetsyfika ta perspektyvni tendentsii formuvannia arkhitekturnoho seredovyscha parkinhiv v miskomu seredovyschi [Specificity and perspective trends in the formation of the architectural environment of parking lots in the urban environment]. Development of modern science: the experience of European countries and prospects for Ukraine: monograph. Riga, Latvia : «Baltija Publishing». P. 617–640 [In Ukrainian].

6. Scheiner, J., Faust, N., Helmer, J., Straub, M., Holz-Rau, Ch. (2020). What's that garage for? Private parking and on-street parking in a high-density urban residential neighbourhood. *Journal of Transport Geography*. 85. P. 102714. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102714>.

7. Niira, K., Shigeno, K., Kikuchi, M., Inoue, T. (2016). Disaster-prevention measures for underground space to deal with large-scale earthquakes and intensified flood disasters in Japan. *Procedia Engineering*. 165. P. 224–232.

8. Kishii, T. (2016). Utilization of underground space in Japan. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 55. P. 320–323.

9. Davis, A. Y., Pijanowski, B. C., Robinson, K., Engel, B. (2010). The environmental and economic costs of sprawling parking lots in the United States. *Land Use Policy*. 27(2). P. 255–261.

10. Chen, T., Zhang, X. P., Wang, J., Li, J., Wu, C., Hu, M., Bian, H. (2020). A review on electric vehicle charging infrastructure development in the UK. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*. 8(2). P. 193–205.

11. Gilderbloom, J. I., Hanka, M. J., Lasley, C. B. (2009). Amsterdam: planning and policy for the ideal city? *Local Environment*. 14(6). P. 473–493.

12. Coene, A. A. (2009). Car parks have been brought into action as key buildings in a strategy. *The Urban Project: Architectural Intervention in Urban Areas*. 39. P. 79–88.

13. Ilsbroekx, R., Van Acker, M. (2021). Automotive urban landscapes:

Exploring public programmes for adaptive reuse of underground car parks. *Journal of Landscape Architecture*. 16(3). P. 24–39.

14. Wallace, M. I., Ng, K. C. (2016). Development and application of underground space use in Hong Kong. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 55. P. 257–279.

15. Zhou, Y., Zhao, J. (2016). Assessment and planning of underground space use in Singapore. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 55. P. 249–256.

16. Zhang, Y., Yao, H., Li, L. (2023). Comprehensive optimization research of underground parking lot based on BIM technology – taking the renovation project of underground parking lot of X Apartment in Zhengzhou as an example. *Urban Development*. 10. P. 107–109.

17. Shan, Z. (2021). Design scheme of underground comprehensive pipe corridor for parking lot project. *China High-tech*. 14. P. 84–85.

18. Zhang, L, Wu, W., Wang, J., Wang, Y., Zhang, Y., Wang, N., Yuan, Sh., Li, J., Xian, W., Deng, L., Fan, W. (2024). Vocs pollution and respiratory exposure in commercial and residential underground parking garages. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 136. P. 104472. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104472>.

19. Wang, J, Huang, Y, Bo, Y, Zhang, Y, Zhang, L. (2023). Air pollution characteristics and human health risk assessment of underground parking garages in Xi'an, China. *Indoor and Built Environment*. 32(4). P. 632–651. Retrieved from: <https://doi.org/10.1177/1420326X221131951>

20. Glorennec, P., Bonvallet, N., Mandin, C., Goupil, G., Pernelet-Joly, V., Millet, M., Filleul, L., Le Moullec, Y., Alary, R. (2008). Is a quantitative risk assessment of air quality in underground parking garages possible? *Indoor Air*. 18(4). P. 283. Retrieved from: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2008.00529.x>

21. Cao, Sh.-J., Leng, J., Qi, D., Kumar, P., Chen, T. (2022). Sustainable underground spaces: Design, environmental control and energy conservation.



*Energy and Buildings*. 257. P. 111779. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111779>.

22. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030] (2018). Verkhovna Rada Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> [In Ukrainian].

23. Zvit Antymonopolnoho komitetu Ukrainy za rezultatamy doslidzhennia rynku posluh utrymannia maidanchykv dlia parkuvannia ta zabezpechennia zberihannia na nykh transportnykh zasobiv. Skhvaleno Antymonopolnym komitetom Ukrainy 24 lystopada 2016 roku protokol # 88 2016 rik [Report of the Antimonopoly Committee of Ukraine on the results of the study of the market of services for the maintenance of parking lots and ensuring the storage of vehicles on them. Approved by the Antimonopoly Committee of Ukraine on November 24, 2016, Protocol No. 88 2016.] (2016). Retrieved from: [https://amcu.gov.ua/storage/app/sites/1/imported\\_content/5d690f444cecd.pdf](https://amcu.gov.ua/storage/app/sites/1/imported_content/5d690f444cecd.pdf) [In Ukrainian].

24. Metodychni rekomendatsii do provedennia praktychnykh zaniat ta orhanizatsii samostiinoi roboty z navch. dysts. «Arkhitekturne proiektuvannia: nazemnyi harazh dlia lehkovykh avtomobiliv na 150 mashyno-mists» [Methodical recommendations for conducting practical classes and organizing independent work on the course “Architectural Design: Ground Garage for Cars with 150 Parking Spaces”] (2021). Kharkivskiy nats. un-t miskoho hospodarstva im. O. M. Beketova. Retrieved from: [https://eprints.kname.edu.ua/57854/1/2021\\_%D0%9F%D0%95%D0%A7\\_82%D0%9C\\_%D0%93%D0%90%D0%A0%D0%90%D0%96.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/57854/1/2021_%D0%9F%D0%95%D0%A7_82%D0%9C_%D0%93%D0%90%D0%A0%D0%90%D0%96.pdf) [In Ukrainian].

25. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2013). *Decision making with the analytic network process. Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. New York, Springer. 363 p. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7>

26. Saaty, T. L. (2016). The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making. In: Greco, S., Ehrgott, M., Figueira, J. (eds) *Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science*. New York, Springer. 233 p. Retrieved from: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_10)
27. Kyrylych, T., Povstenko, Y. (2023). Multi-Criteria analysis of startup investment alternatives using the hierarchy method. *Entropy*. 25(5). P. 723. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/e25050723>
28. The Comprehensive R Archive Network (2016). Analytic Hierarchy Process ahp. Retrieved from: <https://cran.microsoft.com/snapshot/2016-08-05/web/packages/ahp/index.html>.
29. Kofanov, O., Kofanova, O., Chepel, A., Kriuchkov, A., Rabosh, I., Zhukova, N. (2022). Modeling of the car traffic air pollution on the territories neighboring multi-level interchanges. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 78(4). P. 17–38. Retrieved from: <https://doi.org/10.5755/j01.arem.78.4.31583>
30. Kofanov, O., Zozul`ov, O. (2018). Successful development of startups as a global trend of innovative socio-economic transformations. *International and Multidisciplinary Journal of Social Sciences*. 7(2). P. 191–217. Retrieved from: <https://doi.org/10.17583/rimcis.2018.3576>
31. Kofanov, O., Kofanova, O., Tkachuk, K., Tverda, O., Shostak, I. (2024). Enhancement of the market attractiveness and success of startups on the circular economy and sustainability principles. *Agricultural and Resource Economics*. 10(2). P. 167–189. Retrieved from: <https://doi.org/10.51599/are.2024.10.02.07>

*Стаття надійшла до редакції 05.11.2024*