

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.12>

УДК 624.1, 625.1

ДОСВІД ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ В ЗАЛІЗНИЧНОМУ СЕКТОРІ

**Чернишова Оксана Сергіївна¹, Степанчук Олександр Васильович²,
Степура Віктор Степанович³**

¹Кандидат технічних наук, доцент,
Національний авіаційний університет, Київ, Україна,
e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

²Доктор технічних наук, професор,
Національний авіаційний університет, Київ, Україна,
e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471

³Кандидат економічних наук, доцент,
Національний авіаційний університет, Київ, Україна,
e-mail: viktor.stepura@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8096-5437

Анотація. Метою даного дослідження є проведення аналізу світового досвіду використання підземного простору для спорудження вокзальних комплексів у великих містах, оцінки переваг та недоліків запровадження таких систем, а також можливості реалізації подібних проєктів в Україні.

Безперечним фактом сьогодення є те, що у великих містах ресурс щодо зростання простору в ширину та висоту вичерпаний або майже вичерпаний, що обумовлює потребу в зростанні в глибину з відповідним освоєнням підземного простору. Інтенсивний розвиток транспортних систем, відсутність у містах вільної від забудови території, ускладнення технології міського життя – все це стало поштовхом для містобудівних проєктів в усьому світі, що передбачають розташування не лише надземних, але й підземних споруд. Особливо гостро стоїть питання в транспортному секторі, оскільки перевантаженість автомобільних доріг, їх негативний вплив на навколишнє середовище, перетинання транспортних та пішохідних потоків, підвищення швидкостей руху – все це порушує безпеку та суттєво знижує комфортність для населення. Саме тому дане дослідження присвячене аналізу проєктів, що спрямовані на освоєння підземного простору у великих містах, з метою винесення у нього залізничних колій, автомобільних доріг, паркувальних територій та іншої інфраструктури, що дозволяє знижувати негативні наслідки та суттєво покращувати рівень життя. Практика застосування підземної урбаністики в залізничному секторі в світі не є новою, а для України використання закордонного досвіду також дозволить вирішити містобудівні, транспортні та соціальні проблеми.

В роботі зроблено акцент на тому, що запровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні поставить додаткові питання щодо спорудження нових вокзальних комплексів або модернізації існуючих. До ключових факторів для успішної реалізації таких проєктів можна віднести зручність трансферу до високошвидкісного поїзду, а нерідко це можливо лише за умови розташування вокзального

комплексу в центральній частині міста. Також вимушене зниження швидкості високошвидкісного поїзда територією міста впливає на загальну тривалість поїздки та пасажирами сприймається негативно. У зв'язку з цим виникає ряд питань щодо організації руху поїздів та їхньої взаємодії з іншими видами транспорту й міською забудовою. Проаналізований в роботі світовий досвід підкреслює привабливість та ефективність проєктів застосування підземного простору для транспортної інфраструктури та вокзальних комплексів зокрема.

Ключові слова: підземний простір, вокзальні комплекси, вертикальне планування, високошвидкісний рух поїздів, транспортна інфраструктура.

ВСТУП

На сьогодні залізничний вокзал є не лише елементом залізничної інфраструктури, що забезпечує наряду з обслуговуванням пасажирів й управлінням рухом поїздів, і розміщення службового персоналу, і виконання ряду технічних операцій, пов'язаних з прийомом та відправленням поїздів, пасажирів та багажу. Вокзал забезпечує обслуговування й відвідувачів, якими можуть бути як проводжаючі особи, так і клієнти, що мають можливість скористатися додатковими послугами; а також обслуговує юридичних осіб та осіб-підприємців, які здійснюють підприємницьку діяльність на території вокзальних комплексів. Вокзальні комплекси – це перше, що бачить пасажир, прибуваючи в пункт призначення. Також вони є перетином багатьох маршрутів і при продуманій організації послуг можуть бути корисними не лише для безпосередньо пасажирів, а й залучати суттєву кількість споживачів різноманітних послуг. Зважаючи на це, в деякому розумінні залізничний вокзал можна назвати візитною карткою міста. Серед провідних містобудівних проєктів в світі особливе місце посідають багатофункціональні центри, що створені на базі транспортно-пересадочних вузлів. Світовий досвід свідчить про те, що вокзальні комплекси на сьогодні, окрім основного призначення служать місцем локалізації різних видів діяльності: туристичної, наукової, інформаційної, торгівельної, бізнесової і т.ін. У зв'язку з цим останні десятиріччя в світі активно розробляються та впроваджуються все більш цікаві та неординарні проєкти вокзальних комплексів. Розвиток високошвидкісних залізничних магістралей також став поштовхом для реалізації нових проєктів, оскільки потребує зручного під'їзду пасажирів до високошвидкісних поїздів і є точкою перетину багатьох видів громадського транспорту. Нерідко в світовій практиці вокзальні комплекси розташовуються в центрі міста, що є зручним для пасажирів. Але також це може бути проблемою при організації руху високошвидкісних поїздів, обумовленою

підвищеними вимогами до безпечних відстаней, розмірів платформ, міжколійними відстанями, шумозахисними заходами та рядом інших питань. До того ж, зважаючи на щільну забудову сучасних міст, а особливо їх центральних частин, нерідко фізично складно забезпечити функціонування всіх елементів та зручність клієнтів одночасно. Саме тому в останні роки популярності набирають проєкти підземних вокзальних комплексів, які при правильній організації можуть вирішити всі перелічені проблеми. Організація руху різних видів транспорту в цьому випадку реалізується в різних рівнях, що окрім зручності дозволяє забезпечити максимальну безпеку для пасажирів, відвідувачів та працівників таких вокзальних комплексів. В даній роботі авторами розглянуто закордонний досвід застосування підземного простору для розташування залізничних вокзалів.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Останніми десятиріччями в світі підземний простір набуває все більшої важливості для розвитку суспільства. І хоча питання комплексного та цілеспрямованого освоєння підземного простору великих міст не нове та має багатовікову історію, але особливу актуальність набуло лише останнім часом. Зростання населення, міграція до міст, відсутність вільної від забудови території у великих містах, інтенсивна автомобілізація, збільшення потреб у транспорті, комунальних послугах, безпеці та укриттях – все це сприяє розвитку підземного простору. Аналіз світового досвіду містобудування свідчить про те, що одним з найефективніших варіантів розв'язання проблем великих міст, пов'язаних з територією, транспортом, енергетикою, екологією, водопостачанням та безпекою є саме розвиток підземної урбаністики – розміщенням в підземному просторі ряду споруд транспортного, комунального та господарчого призначення [9, 14, 20]. А в деяких країнах цей перелік поширюється й на житлову сферу, пропонуючи будівництво так званих «хмарочосів навпаки»

і навіть цілих підземних міст (наприклад, Токіо, Гельсінкі).

Використання підземного простору вважається раціональним з точки зору більш ефективного споживання енергії, зниження витрат на опалення та охолодження приміщень, обумовлених природньою ізоляцією ґрунтом та помірним й рівномірним рівнем температури впродовж року, зменшення шкідливих викидів в атмосферу, заторів та рівня шуму, підвищення рівня безпеки і, як наслідок, в цілому покращує рівень життя людей. Слід також відмітити, що підземним спорудам притаманна більш висока стійкість у порівнянні з наземними, оскільки стихійні лиха (землетруси, торнадо, повені, урагани та ін.) здійснюють на них менший вплив. На сьогодні надзвичайно актуальною є здатність масиву породи надійно захищати людей від засобів масового ураження, техногенних катастроф та стихійних лих. Незважаючи на достатньо високі витрати на будівництво підземних споруд, їх прийнято вважати більш економічно ефективними за рахунок їхнього життєвого циклу, який, як мінімум, втричі перевищує життєвий цикл наземних споруд, та перевищує 100 років, а деякі споруди в світі успішно експлуатуються набагато довше (наприклад, Лондонське метро, яке було здане в експлуатацію в 1863 році або тунель під р. Темза, побудований у 1843 році).

Аналіз наукових робіт вітчизняних та закордонних вчених [1–2, 9, 13–14, 20–22] дозволяють виділити наступні групи містобудівних та соціально-економічних факторів, які підкреслюють потребу у розвитку підземної урбаністики:

- підвищення рівня безпеки пішоходів та транспортних засобів й скорочення витрат часу, проведеного в дорозі, за рахунок перерозподілу транспортних потоків та вдосконалення системи організації руху;
- раціональне планування великих площ для технічного ремонту і зберігання громадського, спеціального та індивідуального транспорту;
- більш раціональне використання міської території за рахунок спорудження багаторівневих вузлів, які є точкою вирішення багатьох питань населення;
- підвищення можливостей щодо збереження архітектурних та історичних пам'яток, які є культурною спадщиною;
- відтворення більш досконалої системи побутового, комунального та культурного обслуговування населення.

Але єдиних спільних рекомендацій щодо застосування підземного простору не існує,

а для окреслення перспектив та умов будівництва в кожному окремому великому місті необхідне проведення комплексного інженерно-геологічного дослідження. Результати таких широкомасштабних досліджень ґрунтуються на накопиченому світовому та вітчизняному досвіді та дозволяють визначати найсприятливіші зони для підземного будівництва.

МЕТА

В роботі авторами планується проведення аналізу світового досвіду використання підземного простору для спорудження вокзальних комплексів у великих містах, оцінки переваг та недоліків запровадження таких систем, а також можливості реалізації подібних проєктів в Україні.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Як зазначено вище, останніми десятиріччями в світі спостерігається розвиток великих міст не лише в горизонтальній площині, а й у вертикальній – із використанням як надземного, так і підземного простору. Це обумовлене суттєвою нестачею вільних територій, значною вартістю міських земель, якістю життя та екологічним балансом. В останні роки основним пріоритетом в містобудівній галузі країн Європи та США є, так звана, модель «компактне місто», яка дозволяє задовольнити нагальні потреби сучасного суспільства без шкоди та втрат для майбутніх поколінь. Світовий досвід вертикального планування успішно дозволяє вирішувати такі містобудівні проблеми транспортного сектору як розмежування пасажирських та транспортних потоків, транзитного й місцевого транспорту, звичайного та швидкісного.

Підземні комунікації надають зручність та комфорт у міських районах з щільною забудовою за умови забезпечення трьохмірної моделі вільного переміщення людей, матеріальних, енергетичних та водних ресурсів. Якщо проєктування та експлуатація підземної інфраструктури здійснюється грамотно, то вона забезпечує кращу якість життя, екологічну безпеку та енергетичну ефективність, ніж аналогічні наземні споруди.

Загальна класифікація підземних споруд наведена на рис. 1 [9, 13].

Згідно наведеної класифікації підземні споруди поділяються за призначенням. До інженерно-транспортних споруд в свою чергу відносяться пішохідні тунелі, автотранспортні тунелі, споруди метрополітену, швидкісного трамваю і міських ділянок залізниць, окремі приміщення і пристрої вокзалів, автостоянки



Рис. 1. Загальна класифікація підземних споруд



Рис. 2. Класифікація підземних споруд за тривалістю перебування

і гаражі, тунелі з розміщеними в них тротуарами, які рухаються й іншими видами безперервного транспорту.

Зважаючи на те, що тривалість перебування людей в підземному просторі обумовлена психофізичними та санітарно-гігієнічними показниками, досвід вітчизняних та закордонних фахівців містобудівної галузі дозволив розподілити підземні об'єкти на відповідні часові групи. Так, на рис. 2 наведена загальна класифікація об'єктів за тривалістю перебування в підземному просторі [9, 20].

Згідно наведеної класифікації до першої групи споруд відносяться підземні заклади культурно-побутового обслуговування з часом перебування від 3 до 4 годин. До другої групи відносяться заклади аналогічної категорії, але з часом перебування від 1 до 1,5 годин.

І третя група включає споруди транспортного призначення, для яких характерне перебування людей протягом декількох хвилин. До останньої категорії також можна віднести приміщення, експлуатація яких здійснюється без постійної присутності людини – технічні, складські, підсобні.

На сьогодні вже розроблені та достатньо відомі деякі принципи вертикального планування підземного простору за умови його багаторусного використання. Деякі варіанти зазначеного зонування наведені на рис. 3, з якого видно, що залізничні колії рекомендовано розташовувати на нижніх ярусах.

При цьому різні підземні споруди можуть розташовуватися на відповідній глибині від поверхні землі. В цілому на сьогодні виділяють підземні споруди неглибокого закладання

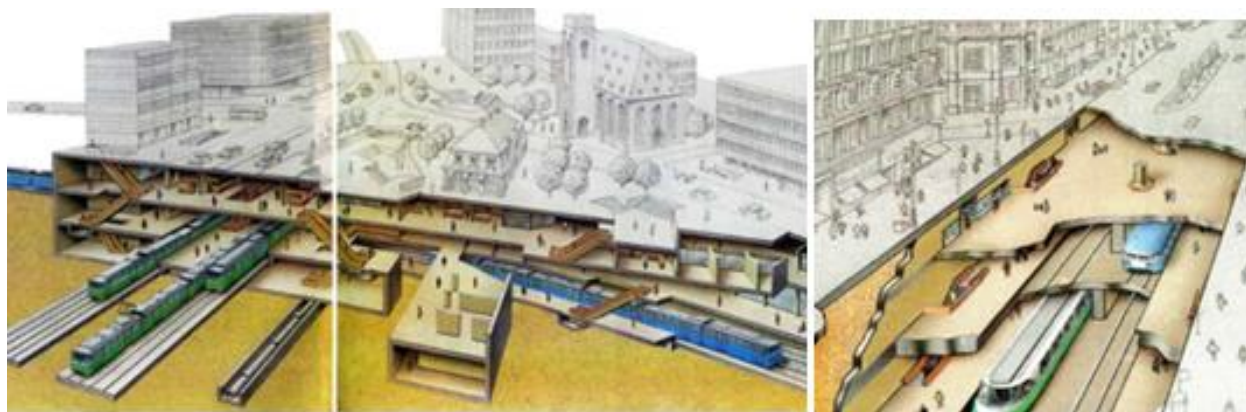


Рис. 3. Приклад вертикального планування підземного простору

(розташовуються на глибині до 10–12 м від поверхні землі) та глибокого закладання (розташовуються на глибині понад 12 м від поверхні землі). Також відомі напівпідземні споруди, для яких характерне розташування верхнього перекриття над поверхнею землі. Будівництво підземних споруд може здійснюватися різними способами залежно від глибини закладання споруди, містобудівних та конструктивних особливостей й інженерно-геологічних характеристик. В табл. 1 наведено рекомендовані світовою практикою глибини закладання різних типів підземних споруд [9, 20, 22]. Так, вузли пересадки, які характерні як для звичайних залізничних станцій, станцій метрополітену, так і для високошвидкісних вокзалів, можуть розташовуватися на глибині від 10 до 40 м. Тунелі ж високошвидкісного

транспорту рекомендують розташовувати на глибині понад 40 м.

При освоєнні підземного простору за наведеним принципом особливо виникають питання щодо вертикального планування на глибині 50...100 м і у зв'язку з цим вченими пропонується в подальшому класифікувати міські підземні споруди за чотирма рівнями, як показано в табл. 2.

Якщо підземні станції метрополітенів та колії метро експлуатуються достатньо давно (першим у світі вважається Лондонський метрополітен, відкритий у 1863 році), а реалізація цих проєктів дозволила набагато знизити навантаження на наземну транспортну інфраструктуру великих міст, то підземні залізничні вокзали міжміського сполучення порівняно виникли нещодавно і викликають

Таблиця 1

Глибини закладання підземних споруд

Глибина закладання, м	Види підземних споруд
до 4	пішохідні переходи, автостоянки, місцеві інженерно-технічні мережі, підвальні приміщення, тунелі рухомих тротуарів, збірні колектори
4...10	транспортні розв'язки, тунелі метрополітену та транспортні тунелі мілкового закладання, сховища, автостоянки, гаражі, магістральні колектори
10...25	тунелі та станції метрополітенів, вузли пересадки, стояночні гаражі, водостоки, каналізаційні колектори
25...40	транспортні тунелі глибокого закладання, вузли пересадки, стояночні гаражі
40...60	тунелі високошвидкісних видів транспорту

Таблиця 2

Перспективний розподіл міських підземних споруд

Рівень	Глибина, м	Призначення
4	0...10	установи, заклади торгівлі, заклади культури, дозвілля та відпочинку та ін., які постійно експлуатуються великою кількістю людей
3	10...30	транспортні тунелі, автостоянки, склади та ін., які використовуються великою кількістю людей короткочасно
2	30...50	підприємства промисловості й енергетики з постійною присутністю обмеженої кількості кваліфікованого персоналу
1	50...100	інженерні комунікації, які експлуатуються без постійної присутності людини

чимало питань стосовно придатності відповідних територій, прогнозованого попиту, економічної ефективності, норм проектування та інших факторів [20].

Оскільки одним з головних призначень вокзальних комплексів сьогодення можна назвати іміджеву складову міста, то до основних функцій таких споруд можна віднести: підвищення рівня безпеки, удосконалення інфраструктури міста, усунення конфлікту між міським середовищем та транспортним сектором, покращення транспортної досяжності і як наслідок – покращення якості життя міського населення. Подібні питання розглядаються в роботах [3–4, 7–8, 12, 15]. Серед прикладів успішного освоєння підземного простору для потреб залізничної інфраструктури можна виділити залізничний вокзал в Гонконзі – Західний Коулун [19], що введений в експлуатацію в 2018 році (рис. 4). Окрім того, що він є повністю підземним з максимальною глибиною 25 м, а над землею розташований лише скляний панцир, він ще є найбільшим залізничним вокзалом в світі, налічує чотири підземних рівня та 15 залізничних платформ, а корисна площа його становить понад 400 000 м², 75% яких відведені під ритейл. Однією з особливостей вокзального комплексу є те, що він спроектований за принципом аеропорту, розділяючи потоки пасажирів, що прибувають та тих, що відправляються. Також скляні панелі надземної частини розташовані таким чином, щоб природне світло досягало навіть нижнього рівня, що забезпечує високий рівень енергоефективності даного комплексу споруд. Новий залізничний вокзал Гонконгу є частиною швидкісної лінії Гуанчжоу – Шеньчжень – Гонконг

та є відправним центром понад 100 поїздів за добу на материкову частину Китаю. Створення даного вокзального комплексу та спеціального тунелю, що з'єднує його з материковою частиною, дозволило не лише більш ефективно використати міську територію, влаштувати потужний транспортний вузол з різних видів громадського транспорту, але й полегшити перетин кордону між країнами та підвищити мобільність населення

До найбільших та найсучасніших вокзалів Європи можна віднести Берлін-Головний – центральний вокзал в Берліні [17] (рис. 5), введений в експлуатацію в 2006 році. Довжина станції становить 450 м, а кількість колій що обслуговується – 18. Цікавий цей вокзальний комплекс двома рівнями, які обслуговують як місцеві, так і міжміські перевезення, а також характеризується підземною частиною (8 колій, що забезпечують міжміське та регіональне сполучення й 2 колії S-bahn) та надземною (естакадні 6 колій, 4 з яких використовуються для регіонального та міжміського сполучення в Берлінському штадбані, а ще 2 – для обслуговування швидкісних поїздів на штадбані), також в своєму складі має 2 відокремлені від головного вокзалу колії, що використовуються для ліній U-bahn. Станція обслуговує близько 1800 поїздів на добу, а середній добовий пасажирообіг становить 350 тис. пас./добу.

Ще одним масштабним проектом в світовій практиці є новий залізничний вокзал Іцхак Навон в Єрусалимі [18] (рис. 6), який було введено в експлуатацію в 2018 році. Розташований вокзальний комплекс на глибині 80 м та має площу 70 000 м² й одночасно може обслуговувати близько 4 000 пасажирів.



Рис. 4. Залізничний вокзал Гонконгу



Рис. 5. Залізничний вокзал в Берліні



Рис. 6. Залізничний вокзал в Єрусалимі Іцхак Навон

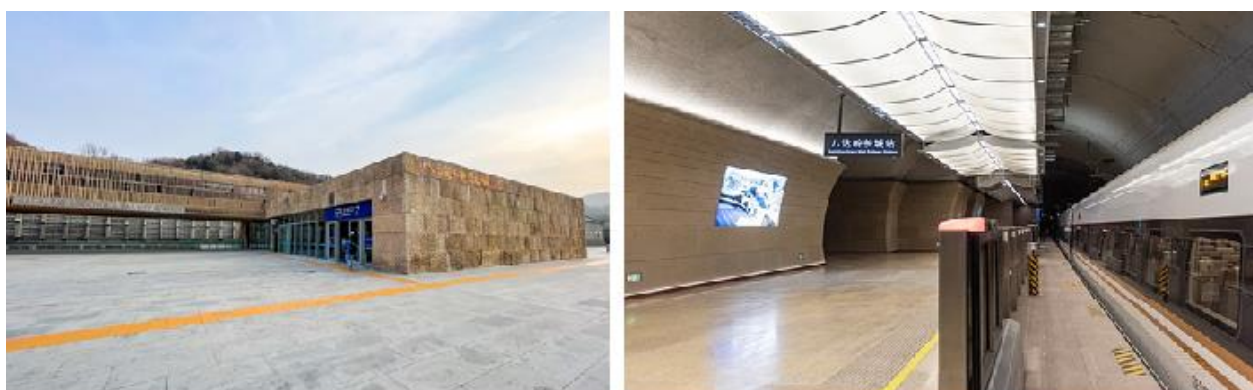


Рис. 7. Залізнична станція Бадалін

Однією з найглибших підземних станцій високошвидкісного залізничного транспорту в світі є станція Бадалін в Китаї [16] (рис. 7), яка складається з трьох рівнів та закладена на глибині 102 м й займає площу понад 36 000 м². Підземна станція Бадалін, яка введена в експлуатацію в 2019 році, є частиною високошвидкісної залізниці Пекін – Чжанцзякоу (швидкість до 350 км/год) і дозволяє

втричі зменшити час перебування в дорозі (з 1,5 годин до 27 хвилин) туристам, що планують відвідати найпопулярніший відрізок Китайської стіни – Бадалін. Для зручності відвідувачів станція знаходиться поряд з однойменною ділянкою Китайської стіни – Бадалін та прокладена глибоко під землею, як і примикаюча ділянка високошвидкісної залізниці (12-кілометрова система тунелів під об'єктом

Світової спадщини ЮНЕСКО), для захисту пам'ятки від пошкоджень.

До цього переліку можна віднести ще ряд споруд у світі. Центральний залізничний вокзал у швейцарському м. Берн, де в центральній історичній частині міста підземний простір відведено під вокзальні приміщення, а надземну частину займають будівлі громадського призначення, автовокзал та навіть частково парк. Підземний комплекс споруд в Монреалі (Канада), який поєднує залізничні колії, лінії метрополітену, автостоянки, торговельні приміщення, готель, кінотеатр та заклади харчування. Підземний вокзальний комплекс в Сінгапурі, що розташований на глибині 27 м та займає 5 рівнів, на яких розташовані окрім об'єктів залізничної інфраструктури, офісні та торговельні приміщення, заклади харчування і т.ін. Слід відмітити площу Карлсплац в Мюнхені (Німеччина), яка уявляє собою комплекс споруд, розташованих на 5 рівнях на 40-метровій глибині. Зазначений комплекс споруд розташований поряд із залізничним вокзалом та містить у собі перони, касові залізничні зали, торговельні та складські приміщення, автопаркінг, автозаправні станції, а також інженерну інфраструктуру перелічених об'єктів. Подібних проєктів з кожним роком в світі стає все більше, а їхня реалізація підкреслює перспективність розвитку підземної урбаністики в цілому та в залізничному секторі зокрема. Так, в 2022 році оголошено тендер на будівництво підземної залізничної станції у Флоренції (Італія), яка згідно проєкту буде розташовуватися на глибині 27 м, проєктом передбачено будівництво двох залізничних тунелів, що дозволить розмежувати поїзди високошвидкісні та регіонального сполучення. В італійському місті Барі розроблено проєкт щодо перепланування міської території, яка примикає до будівлі вокзалу, автори якого пропонують залізничну інфраструктуру перемістити у підземний простір, а надземну територію відвести під пішохідні та велосипедні доріжки, а також паркову зону. Також можна відмітити амбітний проєкт в Швейцарії, який анонсує будівництво підземного вокзалу на глибині 800 м, що в перспективі має стати проміжним пунктом залізничної лінії Цюрих – Мілан.

Одним з важливих напрямків інтеграції української транспортної системи в європейську є будівництво в нашій країні високошвидкісних магістралей з європейською шириною колії, для чого наявні всі передумови, проведено багаторічні дослідження, намічено перспективні напрямки та розроблено відповідні проєкти. Національною транспортною

стратегією на період до 2030 року [11] передбачено створення умов для впровадження на залізницях високошвидкісного пасажирського руху (до 400 км/год), експрес-доставки цінних вантажів (до 350 км/год), прискореної доставки контейнерів (не менш як 200 км/год). Реалізація намічених заходів передбачає будівництво нових колій за світовими стандартами. Перспектива будівництва високошвидкісних магістралей обумовлює завдання з улаштування нових чи модернізації існуючих вокзальних комплексів, що викликає ряд питань з використання міської території, перепланування вокзалів, забезпечення комфортабельного під'їзду пасажирів до поїзда. Аналіз світового досвіду дозволяє стверджувати, що зручність розташування вокзальних комплексів високошвидкісних залізниць є ключовим при наданні пасажирами переваг у виборі виду транспорту. Одним з варіантів вирішення задачі раціонального розміщення вокзального комплексу є використання підземного простору. Розміщення залізничних станцій в центрі міста забезпечує зручний трансфер пасажирів до поїзда навіть з віддалених районів міста, а також з передмістя, оскільки в більшості випадків поєднує поїзди регіонального та дальнього сполучення. Але спорудження високошвидкісних магістралей ставить нові задачі, які пов'язані з організацією руху високошвидкісного поїзда територією міста. Є декілька варіантів вирішення даної проблеми.

1. Забезпечення руху поїзда за змішаною системою звичайними коліями, які вже збудовані. Але в цьому випадку ускладнюється організація руху поїздів по станції в цілому, оскільки для пропуску одного високошвидкісного потрібні суттєві зміни в графіках руху приміських та пасажирських поїздів інших категорій. Також рух високошвидкісного поїзда територією міста буде здійснюватися на невисокій швидкості, що призведе до суттєвого зниження маршрутної швидкості та подовження тривалості поїздки.

2. Рух високошвидкісного поїзда окремими коліями. В цьому випадку організація руху дещо спроститься відносно попереднього варіанту, але так само залишиться проблема зменшення швидкості при проходженні поїзда територією міста, що негативно відобразиться на загальній тривалості маршруту.

3. Організація руху високошвидкісного поїзда спеціальними надземними спорудами. Даний варіант в теорії дозволяє курсувати поїздам з заданим швидкостями, але на практиці потребує додаткового вивчення та розрахунків щодо впливу бічної сили вітру

з ймовірним подальшим коригуванням допустимого рівня швидкості. Також залишається питання щодо улаштування вузлів пересадки зручними для пасажирів.

До того ж, в перших двох випадках потрібно передбачати додаткову огорожу для забезпечення безпеки, а для перших трьох виконати оцінку рівня шуму від високошвидкісного рухомого складу для з'ясування можливості пропуску таких поїздів в районі житлової забудови відповідно до діючих норм або для проектування додаткових шумозахисних споруд.

4. Застосування підземного простору для спорудження вокзальних комплексів, вузлів пересадки та тунелів, які б дозволили рухатися поїздам зі встановленим швидкостями територією міста.

Зрозуміло, що освоєння підземного простору багатоскладна задача і вирішення її залежить від багатьох факторів. Рішення щодо можливості будівництва підземних споруд приймається після ретельних досліджень: інженерно-геологічних насамперед. Враховуючи суттєві інвестиції в подібні проекти, потрібні детальні економічні дослідження. Також важливо розуміти, де саме будуть споруджуватися подібні вокзальні комплекси: безпосередньо під наявними, що дозволить під'єднатися до існуючої мережі громадського транспорту, поєднавши існуючу систему «залізниця-місто» з високошвидкісною магістраллю. Або ж більш раціональним буде будівництво нового вокзального комплексу підземного типу, як приклад, на промислових територіях, що не експлуатуються. В цьому випадку потрібно розробляти нові проекти схем руху громадського транспорту, але застосування підземного простору відкриває нові можливості. За рахунок вертикального планування в декілька ярусів високошвидкісні залізничні станції можна сполучити з автобусними маршрутами, звичайною залізницею, існуючими станціями метрополітенів, навіть міським трамваєм.

В Україні є всі передумови та досвід для будівництва підземних вокзальних комплексів. Адже в трьох містах країни (Київ, Харків, Дніпро) [6, 10] експлуатуються метрополітени. До того ж практичний досвід будівництва споруд глибокого закладання в Україні також наявний, оскільки станція метро Арсенальна (м. Київ) має глибину 105,5 м та визнана найглибшою станцією метрополітенів в світі. Нормативними документами також передбачена можливість використання підземного простору [5]. Але зважаючи на те, що освоєння підземного простору вимагає суттєвих інвестицій, величина яких в рази перевищує

інвестиції на спорудження аналогічних споруд на поверхні землі, більш тривалий термін будівництва та більш тривалий термін повернення капітальних вкладень, важливо на передпроектній стадії виконати фундаментальні дослідження щодо прогнозування раціональності такого проекту. Окрім економічної складової, яка є однією з головних, раціональність проекту оцінюється рівнем прогнозованого попиту. Фактори, що впливають на прогнозований попит не завжди можна оцінити кількісно. В загальному вигляді їх можна поділити на дві умовні групи: будівельні фактори та нематеріальні фактори. Будівельні фактори можна оцінити фінансово і до них відносяться: вартість та технологія будівництва, геологічні умови та особливості прилеглої забудови. Перелічені фактори вирішують можливість реалізації проекту за економічними, технічними та технологічними показниками. До нематеріальних факторів відносяться такі, що не завжди можна оцінити грошовими показниками: соціальні ефекти, запобігання виникненню та пом'якшення наслідків транспортних пригод, зниження рівня забруднення навколишнього середовища, розвиток комунальної та транспортної інфраструктури міста та ін.

ВИСНОВКИ

Обмеженість ресурсів та площ в сучасних містах поставили нові питання перед фахівцями містобудівної галузі щодо більш компактного розташування забудови, збереження пам'яток архітектури, забезпечення більш високого рівня безпеки, зниження негативного впливу транспортної інфраструктури на навколишнє середовище, усунення конфліктів між транспортною системою міста та безпосередньо міським середовищем. В світовій практиці активно застосовується досвід використання підземного простору, що дозволяє вирішити поставлені питання. Запровадження високошвидкісного руху викликає нові питання, що, в першу чергу, пов'язані із забезпеченням безпеки та встановленої швидкості на протязі всього маршруту, а також зручністю трансферу до високошвидкісного поїзда, що є ключовим фактором успішності проектів високошвидкісних магістралей. Застосування підземного простору для спорудження вокзальних комплексів дозволило б вирішити негативні проблеми при організації руху поїздів, зокрема, високошвидкісного руху, а також може бути корисне для інших транспортних проектів, дозволивши зберегти архітектурну та культурну спадщину в центральних частинах міста, розвантажити інфраструктуру

та підвищити комерціалізацію громадських закладів різного призначення. Діючими нормативними документами в нашій країні дозволено спорудження об'єктів транспортної інфраструктури в підземному просторі. Технічні можливості для спорудження підземних вокзальних комплексів в Україні

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Гайко Г. І. Освоєння підземного простору в концепції сталого розвитку великих міст / Гайко Г. І. // Геотехнології. № 1. 2018. С. 60–64.
- [2] Гайко Г. І. Проблеми системного планування підземного простору великих міст / Гайко Г. І. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». вип. 25. 2014. С. 35–40.
- [3] Древалі І. В. Архітектурно-містобудівний розвиток залізничних вокзальних комплексів в контексті національної транспортної стратегії України / Древалі І. В. // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: наук.-техн. зб. вип. 51. 2018. С. 221–226.
- [4] Древалі І. В. Вокзальні комплекси сучасного міста у забезпеченні його сталого розвитку. Композиційний аспект. / Древалі І. В. // Міжнародний науковий інтернет-симпозіум «Наука та інновації у сучасному світі (14-21 лютого 2017 р.) Х. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. С. 76–94.
- [5] ДБН В.2.2-12:2019. Планування і забудова територій [чинний з 01.10.2019] К.: Мінрегіон України. 2019. 185 с.
- [6] Київський метрополітен: більше ніж просто 70 км рейок і 820 вагонів. URL: <https://kyivmaps.com/ua/blog/kiivskij-metropoliten-bilse-niz-prosto-70-km-rejok-i-820-vagoniv>
- [7] Кизим О. В. Аналіз сучасних світових тенденцій розвитку залізничних вокзальних комплексів / О. В. Кизим, О. В. Кібкало // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізн. трансп. Укр. держ. акад. залізн. трансп. вип. 25. 2011. С. 27–32.
- [8] Кисіль С. В. Аналіз світових тенденцій по раціональному використанню ресурсів залізничних вокзальних комплексів / Кисіль С. В. // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. № 12. 2013. С. 18–25.
- [9] Коркушко Л. М. Етапи розвитку підземної урбаністики / Л. М. Коркушко, А. М. Плешкановська // Містобудування та територіальне планування. вип. 37. 2010. С. 227–234.
- [10] Метрополітени України. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Метрополітени_України
- [11] Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
- [12] Русанова І. В. Транспортно-пересадочні вузли у планувальній структурі найбільшого міста / І.В. Русанова, І. Склярєва // Досвід та перспективи розвитку міст України. Проблеми розвитку найкрупніших міст України: зб. наук. пр. К.: Вид-во ін-ту «ДІПРОМІСТО». вип. 20. 2011. С. 259–268.

також наявні, соціальний ефект підтверджується світовим досвідом подібних проєктів, але потрібні додаткові дослідження, зокрема, економічного спрямування. В подальших роботах авторами заплановано дослідження фінансових та містобудівних складових зазначеної проблематики.

REFERENCES

- [1] Haiko, H.I. (2018). Osvoiennia pidzemnogo prostoru v kontseptsii staloho rozvytku velykykh mist [Development of underground space in the concept of sustainable development of large cities]. *Heotekhnologii – Geotechnologies*, 1, 60–64 [in Ukrainian]
- [2] Haiko, H.I. (2014). Problemy systemnogo planuvannia pidzemnogo prostoru velykykh mist [Problems of systematic planning of the underground space of large cities]. *Visnyk NTUU «KPI». Seriya «Hirnyctvo» – Bulletin of NTUU «KPI». "Mining" series*, 25, 35–40 [in Ukrainian]
- [3] Dreval, I.V. (2018). Arkhitekturno-mistobudivnyi rozvytok zaliznychnykh vokzalnykh kompleksiv v konteksti natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy [Architectural and urban development of railway station complexes in the context of the national transport strategy of Ukraine]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia: nauk.-tekh. zb. – Modern problems of architecture and urban planning: scientific and technical coll.*, 51, 221–226 [in Ukrainian]
- [4] Dreval, I.V. (2017). Vokzalni kompleksi suchasnoho mista u zabezpechenni yoho staloho rozvytku. Kompozytsiyni aspekt [Station complexes of a modern city in ensuring its sustainable development. Compositional aspect]. *Mizhnarodnyi naukovyi internet-sympozium «Nauka ta innovatsii u suchasnomu sviti – International Scientific Internet Symposium «Science and Innovation in the Modern World.* (pp. 76–94) Kh. KhNUMH im. O. M. Beketova. [in Ukrainian]
- [5] DBN V.2.2-12:2019. (2019). Planuvannia i zabudova terytorii [Planning and development of territories [chynnyi z 01.10.2019]] K.: Minrehiion Ukrainy. 185 s. [in Ukrainian]
- [6] Kyivskiy metropoliten: bilshе nizh prosto 70 km reiok i 820 vahoniv [Kyiv metro: more than just 70 km of rails and 820 cars]. Retrieved from <https://kyivmaps.com/ua/blog/kiivskij-metropoliten-bilse-niz-prosto-70-km-rejok-i-820-vagoniv> [in Ukrainian]
- [7] Kyzym, O.V., & Kibkalo, O.V. (2011). Analiz suchasnykh svitovykh tendentsii rozvytku zaliznychnykh vokzalnykh kompleksiv [Analysis of modern world trends in the development of railway station complexes]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho in-tu zalizn. трансп. Ukr. derzh. akad. zalizn. трансп. – vyp. 25. S. 27–32. – Collection of scientific works of the Donetsk Institute of Railways. transp. Ukraine state Acad. iron transp.*, 25, 27–32 [in Ukrainian]
- [8] Kysil, S.V. (2013). Analiz svitovykh tendentsii po ratsionalnomu vykorystanniu resursiv zaliznychnykh vokzalnykh kompleksiv [Analysis of global trends in the rational use of resources of railway station complexes]. *Enerhozberzhennia. Enerhetyka. Enerhoaudyt – Energy saving. Energy. Energy audit*, 12, 18–25 [in Ukrainian]

- [13] Тригуб Р. М. Особливості освоєння підземного простору / Тригуб Р. М. // *Серія «Технічні науки»*. Вип. 2(94). 2021. С. 106–113.
- [14] Цимбал С. Й. Підземне будівництво: навч. посіб. / С. Й. Цимбал // К.: Вид-во КНУБА. 2004. 148 с.
- [15] Яновський П. О. Пасажирські перевезення: навч. посіб. / П. О. Яновський // К.: Вид-во НАУ. 2008. 469 с.
- [16] Beneath the Great Wall of China lies the world's deepest high-speed railway station. URL: <https://edition.cnn.com/travel/article/badaling-great-wall-station-high-speed-railway-intl-hnk/index.html>
- [17] Berlin Central Station. URL: <https://www.visitberlin.de/en/berlin-central-station>
- [18] Israel's Train Station: Jerusalem Yitzhak Navon. URL: <https://israelrail.com/israels-train-station-jerusalem-yitzhak-navon/>
- [19] Hong Kong MTR Station. URL: <https://www.beijing-visitor.com/hong-kong/mtr-stations>
- [20] Passenger Flows in Underground Railway Stations and Platforms. URL: <https://transweb.sjsu.edu/research/Passenger-Flows-Underground-Railway-Stations-and-Platforms>
- [21] Railways in the Urban Context an architectural discourse. URL: https://www.academia.edu/34829965/Railways_in_the_Urban_Context_an_architectural_discourse
- [22] Utilization of Underground Space Promotes Urban Development. URL: <https://tunnelingonline.com/utilization-of-underground-space-promotes-urban-development/>
- [9] Korkushko, L.M., & Pleshkanovska, A.M. (2010). Etapy rozvytku pidzemnoi urbanistyky [Stages of development of underground urbanism]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, 37, 227–234 [in Ukrainian]
- [10] Metropoliteny Ukrainy [Metropolitans of Ukraine]. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Метрополітени_України [in Ukrainian]
- [11] Natsionalna transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.05.2018 r. № 430-r. [National transport strategy of Ukraine for the period up to 2030: Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated May 30, 2018 No. 430] Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> [in Ukrainian]
- [12] Rusanova, I.V., & Skliarova I. (2011). Transportno-peresadochni vuzly u planovalnii strukturi naibilshoho mista [Transport and transfer nodes in the planning structure of the largest city]. *Dosvid ta perspektyvy rozvytku mist Ukrainy. Problemy rozvytku naikrupnishykh mist Ukrainy – Experience and prospects of the development of Ukrainian cities. Problems of the development of the largest cities of Ukraine*: zb. nauk. pr. K.: Vyd-vo in-tu «DIPROMISTO». vyp. 20. S. 259–268 [in Ukrainian]
- [13] Tryhub, R.M. (2021). Osoblyvosti osvoieniia pidzemnogo prostoru [Peculiarities of development of underground space]. *Seriia «Tekhnichni nauky» – Series «Technical Sciences»*, 2(94), 106–113 [in Ukrainian]
- [14] Tsymbal, S.Y. (2004). Pidzemne budivnytstvo [Underground construction]. Kyiv: Vyd-vo KNUBA. 148 p. [in Ukrainian]
- [15] Yanovskyi, P.O. (2008). Pasazhyrski perevezennia [Passenger transportation]. Kyiv.: Vyd-vo NAU. 469 p. [in Ukrainian]
- [16] Beneath the Great Wall of China lies the world's deepest high-speed railway station. Retrieved from <https://edition.cnn.com/travel/article/badaling-great-wall-station-high-speed-railway-intl-hnk/index.html>
- [17] Berlin Central Station. Retrieved from <https://www.visitberlin.de/en/berlin-central-station> [in German]
- [18] Israel's Train Station: Jerusalem Yitzhak Navon. Retrieved from <https://israelrail.com/israels-train-station-jerusalem-yitzhak-navon/>
- [19] Hong Kong MTR Station. Retrieved from <https://www.beijing-visitor.com/hong-kong/mtr-stations>
- [20] Passenger Flows in Underground Railway Stations and Platforms. Retrieved from <https://transweb.sjsu.edu/research/Passenger-Flows-Underground-Railway-Stations-and-Platforms>
- [21] Railways in the Urban Context an architectural discourse. Retrieved from https://www.academia.edu/34829965/Railways_in_the_Urban_Context_an_architectural_discourse
- [22] Utilization of Underground Space Promotes Urban Development. Retrieved from <https://tunnelingonline.com/utilization-of-underground-space-promotes-urban-development/>

ABSTRACT***Chernyshova O., Stepanchuk O., Stepura V. Experience of underground urban planning in the railway sector.***

The purpose of this study is to analyze the global experience of using underground space for the construction of station complexes in large cities, to assess the advantages and disadvantages of implementing such systems, as well as the possibility of implementing similar projects in Ukraine.

It is an indisputable fact that in large cities, the resource for growing space in width and height is exhausted or almost exhausted, which necessitates growth in depth with the corresponding development of underground space. The intensive development of transportation systems, the lack of free space in cities, and the complexity of urban living technologies have all given rise to urban development projects around the world that involve not only above-ground but also underground structures method. The issue is particularly dramatic in the transportation sector, as congestion on highways, their negative impact on the environment, intersection of traffic and pedestrian flows, and increased traffic speeds all compromise safety and significantly reduce comfort for the public. That is why this study analyzes projects aimed at developing underground space in large cities to relocate railways, roads, parking areas, and other infrastructure in it, which reduces negative impacts and significantly improves living standards. The practice of applying underground urbanism in the railway sector is not new in the world, and for Ukraine, the use of foreign experience will also help solve urban development, transport and social problems.

The paper emphasizes that the introduction of high-speed train traffic in Ukraine will raise additional questions about the construction of new station complexes or the modernization of existing ones. The key factors for the successful implementation of such projects include the convenience of transferring to a high-speed train, which is often possible only if the station complex is located in the central part of the city. Also, the forced reduction in the speed of a high-speed train through the city affects the overall duration of the trip and is perceived negatively by passengers. This raises a number of questions about the organization of train traffic and its interaction with other modes of transport and urban development. The global experience analyzed in this paper emphasizes the attractiveness and efficiency of underground space projects for transport infrastructure and station complexes in particular.

Key words: underground space, station complexes, vertical planning, high-speed train movement, transport infrastructure.

AUTHOR`S NOTE:

Chernyshova Oksana, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Department of Architecture, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8132-2153

Stepanchuk Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Architecture, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-2822-3471

Stepura Victor, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Department of Architecture, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: viktor.stepura@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-8096-5437

Стаття подана до редакції 02.05.2023 р.