

Косаківський О. В., магістр (Вінницький національний технічний університет, kosakivskiy85@gmail.com)

ПІДЗЕМНА УРБАНІСТИКА СУЧАСНИХ МІСТ В РОЗРІЗІ БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Проаналізовано світові тенденції та приклади використання підземного простору при забудові сучасних світових міст. Показано, що підземний простір може бути використаний для потреби сучасного міста, зокрема показано можливість перенесення з поверхні у підземний простір об'єктів для забудови комерційними об'єктами, торгово-побутовими, культурно-освітніми, спортивними, транспортними мережами.

Показані перспективи впровадження підземного будівництва таких об'єктів в Україні. В умовах відмови України від імпорту природного газу і переходу до електроопалення, переважно за рахунок відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ), нових житлових будинків приведе до зменшення кількості викидів парникових газів, збільшиться частина територій міст для озеленення, оскільки рослинність являється вагомим консерватором вуглекислого газу.

Обґрунтовано та вперше запропоновано підземне розміщення трансформаторних підстанцій в Україні, що забезпечить досягнення та вирішення цілої низки проблем сучасного містобудування.

Ключові слова: ущільнення забудови; підземний простір; раціональне використання підземного простору; трансформаторні підстанції.

При високій щільності міської забудови та гострому дефіциті вільних територій будівництво неможливе без освоєння підземного простору. В останні роки в більшості великих міст світу відзначається підвищений інтерес до широкого використання підземного простору.

Підземне будівництво не є чимось новим, воно розпочалося ще з доісторичних людей, які жили в печерах та хотіли розширити своє помешкання [1]. Усі стародавні цивілізації практикували певну форму підземного будівництва військових складів, тунелів, комор. Інші – практикували скельну архітектуру та культові споруди (рис. 1).



Рис. 1. Підземні місто Дерінкую в Туреччині: а) загальний вид тритисячного міста; б) підземні склади міста Дерінкую

Новаторами відносно нового підземного містобудування в світі стали Канада, Японія та Фінляндія. В Канаді ще в 1997 році було побудоване ціле підземне місто – РАТН. У Монреалі розташоване найбільше «підземне місто» (Lavillesouterraine) площею 12 млн м².

В Монреалі ще в середині ХХ століття міська влада за символічну вартість продавала підземні ділянки, видавала їх в довгострокову оренду. Обов'язковою умовою для приватних інвесторів було вкладання коштів в будівництво виходів на поверхню землі. Підземне будівництво забезпечує економію коштів – насамперед на опаленні, на транспортуванні людей, на витратах на очистку доріг від снігу, ліквідацію аварій та інші цілі [2].

У великих містах Японії, Китаю, Англії, Італії, Франції, Швеції, Норвегії, США та інших країн підземний простір інтенсивно розбудовується і вже накопичений значний досвід будівництва підземних об'єктів. Для забезпечення стійкої рівноваги і комфортного проживання в мегаполісі частка підземних споруд від загальної площі об'єктів, що вводяться в експлуатацію, повинна становити 20% і більше. На сьогодні у Києві ця цифра не перевищує 6%.

Існуюча практика підземного будівництва показала, що «внизу» можна розмішувати не тільки те, що бажано прибрати з очей – труби, склади і навіть контейнери з сміттям, але й інші соціальні об'єкти: торгові центри, готелі, банки, музеї, університети, метро, вузли пересадки залізниці, автостанції та інші об'єкти розважальної та ділової інфраструктури (рис. 2).

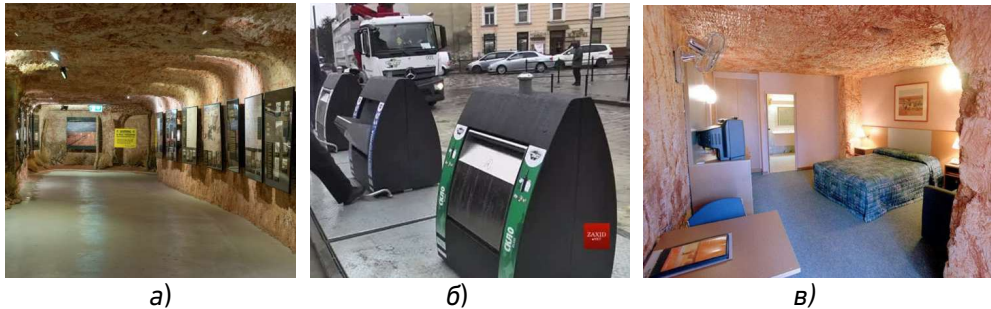


Рис. 2. Приклади переміщення інфраструктури сучасного міста під землю:
 а) підземний музей мистецтв, Австрії; б) підземні контейнери для сміття, Україна, в) підземний готель, Австралія

Переміщення інфраструктури сучасного міста під землю забезпечує вирішення цілої низки соціально-економічних проблем. Світовий досвід показує, що світ поступово буде відмовлятися від існуючої площинної забудови міських територій за принципом «один до другого» і переходити до вертикального зонування міського простору, яке здатне забезпечити формування комфортного житлового і виробничого середовища на основі «глибинно-просторової організації» всієї системи об'єктів, іншими словами – світ має переходити до комплексного освоєння надземного і підземного міського простору.

Метою роботи є узагальнення світового досвіду використання підземного будівництва для влаштування підземних трансформаторних підстанцій.

Дослідження сучасних підходів зменшення енергоспоживання та забезпечення його стабільності, покращення екології довкілля в сучасному містобудуванні відповідає існуючим тенденціям зростання використання підземного будівництва.

У 2024 році, за рішенням уряду, Україна відмовляється від імпортування природного газу, що передбачає впровадження електроопалення нових житлових будинків [3]. А отже, і побудови нових трансформаторних підстанцій та мереж більшої потужності. При щільній міській забудові обґрунтованим рішенням буде підземне будівництво даних об'єктів.

Відмова від імпорту природного газу, перехід до опалення нових житлових будинків електрикою потребує:

- зростання ВДЕ;
- збільшення виробництва трансформаторних підстанцій та накопичувачів енергії;

- ефективного спалювання викопних видів палива при генерації електрики;
- мінімізації втрат енергії при її транспортуванні;
- підвищення захисту енергетичної інфраструктури в умовах потенційної загрози її руйнування.

Саме на електроенергетичну галузь України покладається відповідальність за теплозабезпечення нових будівельних об'єктів та зменшення обсягів використання викопних видів палива та викидів CO₂ [4].

До 2021 р. в Україні діяла норма, за якою мінімальним для побутових споживачів електроенергії було приєднання до споживання на рівні 3 кВт. Однак у березні 2021 НКРЕКП внесла зміни, відповідно до яких мінімальним має бути приєднання на рівні 5 кВт. Отже, Комісія ухвалила рішення, що з цього моменту, якщо будується, наприклад, новий будинок (в тому числі багатоквартирний), то в розрахунках потреб електрики норма є 5 кВт на споживача. Щодо будинків, які були збудовані раніше, то прийняте рішення протягом двох років енергопередавальна організація має максимально перевести споживачів на цю збільшену потужність.

В умовах ущільнення територій при забудові міст навіть існуючі застарілі трансформаторні підстанції не завжди «вписуються» до дворової інфраструктури (рис. 3). В ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» введені нові містобудівні терміни, які мають на меті не тільки підвищити якість забудови, але і зробити населені пункти і квартали безпечнішими та комфортнішими для проживання, загальний рівень озеленення сельбищних територій усіма видами зелених насаджень повинен складати 35%; промислових територій 25%; шкіл і дошкільних навчальних закладів 60%; лікарень 40%.



Рис. 3. Трансформаторні підстанції 10 кВ міст України: а) Миколаїв; б) Вінниця, в) Одеса



Канада вперше побудувала підземну трансформаторну станцію, що була введена в експлуатацію ще в 1984 році. Вона розташована в парку Соборної площі в центрі Ванкувера, під фонтаном та пішохідними доріжками. У США першу підземну електричну підстанцію, було побудовано в 2011 році під парком площею майже в гектар у Анахаймі.

У світі підземні підстанції успішно інтегруються в ландшафт. Одна з найбільших підземних підстанцій у світі на напругу 500 кВ розташована в центрі Шін Тойосу, Токіо. Це 5 підземних поверхів і лише один наземний [5].

Недолік підземних мереж – вищі початкові інвестиційні витрати.

У разі підземного розташування підстанцій на безпечній глибині, над енергетичними об'єктами можна розміщати багатопверхові будинки, зони відпочинку та об'єкти цивільної інфраструктури.

А враховуючи небезпеку російсько-української війни і терору, що завдає агресор стосовно енергетичного сектору – будівництво підземних підстанцій вирішує ряд задач з передачі електричної енергії та захищеності об'єкта.

Також, слід зауважити, що будівництво розподільчих підстанції середньої напруги 6–35 кВ дає змогу звільнити такі необхідні площі у місті, які можуть бути використані для більш значущих цілей.

Підземні камери для трансформаторів виконуються у вигляді об'ємного будівельного блоку з дахом, що знімається, або з розмірами люка, що дозволяють зручно встановлювати і піднімати трансформатор, камера забезпечується примусовою вентиляцією [6].

В 2020 році в усьому світі було встановлено близько 6000 силових трансформаторів. Згідно з дослідженням Global Market Insights, Inc., до 2027 року обсяг світового ринку силових трансформаторів перевищить \$24,5 млрд.

На європейському ринку представлений повний асортимент трансформаторних підстанцій: контейнерні трансформаторні підстанції в бетонному корпусі із зовнішнім коридором обслуговування; контейнерні трансформаторні підстанції в бетонному корпусі із внутрішнім коридором обслуговування; малогабаритні трансформаторні підстанції в бетонному корпусі; контейнерні трансформаторні підстанції в металевому корпусі; підземні трансформаторні підстанції.

На електротехнічному ринку України швидко посилюється інтерес до блочних комплектних трансформаторних підстанцій в

бетонному корпусі (БКТПБ). Значна частина силових масляних трансформаторів, що експлуатується у електроустановках в Україні та інших пострадянських країнах застаріла, вичерпала свій ресурс, потребує їх заміни на сучасні високотехнологічні пожежо- та вибухобезпечні трансформатори. До таких трансформаторів насамперед належать саме силові елегазові трансформатори. Використання в силових елегазових трансформаторах в якості ізоляції і теплообмінника негорючого елегазу (гексафторида сірки – SF₆) вирішує головну проблему пожежобезпеки традиційних масляних трансформаторів, виключає необхідність влаштування протипожежного обладнання, маслозбірників і маслопроводів.

Підземну підстанцію можна змонтувати в будь-якому відповідному місці. Такі підземні та заглиблені підстанції випускаються у вигляді готових бетонних модулів з уже встановленим обладнанням, тобто є повністю готовими мережевими спорудами.



Рис. 4. Фрагмент польських підземних підстанцій ZPUE

Польське підприємство ZPUE виробляє підземні підстанції, які встановлені у багатьох європейських містах (рис. 4). Трансформаторні підземні підстанції ZPUE підходять для функціонування з кабельно-повітряною або кабельною мережею, виконаною за променевою або кільцевою схемою. Блоки підстанцій доставляються на місце монтажу цілком укомплектованими, і для введення в експлуатацію залишається лише монтаж заземлення, підключити кабелі та поставити трансформатори. Дані підстанції мають низку переваг: надійність та простота в експлуатації; зниження до мінімуму експлуатаційних витрат; монтаж за день; взаємозамінні блоки; можливість адаптації до індивідуальних вимог замовника.



Окремим викликом, що зумовлений російською агресією проти України, стає будівництво підземних магістральних електропідстанцій 330 та 750 кВ. Це єдиний спосіб повністю забезпечити пристрої від прямих ракетних влучень. Вартість будівництва наземної підстанції у 2021 році була близько \$30 млн. Підземні підстанції на 20–25% дорожчі.

Потрібно не тільки викопати котлован, а й забезпечити його гідроізоляцію та хорошу вентиляцію, щоб високовольне обладнання коректно працювало. Підземне сховище має бути великим: висота високовольтного трансформатора може сягати 15 метрів, а також достатньо міцним, щоб витримати удар ракети [7].

При використанні сучасного елегазового обладнання (це спеціальний діелектричний газ), стає можливим зменшити площу підстанцій у 4–5 разів (в порівнянні з сучасними). Завдяки цій технології, побудовані підземні підстанції дають змогу раціональніше використовувати дорогі земельні ділянки.

Перші дві пілотні підземні підстанції планувалось побудувати в Україні до кінця 2024 року, а повна перебудова планувалась не менш ніж через 3–5 років. Проте, цей проєкт був відхилений у зв'язку з високою вартістю. А також такі об'єкти не забезпечують на 100% захист від влучань.

Посилення урбанізації, стрімкий розвиток наземного транспорту, дефіцит міської території та необхідність її озелененням призводять до використання підземного простору для розміщення частини міської інфраструктури. Світові тенденції забудови великих міст свідчать, що 20–25% міської інфраструктури може бути переміщена під землю.

Проєкування та розміщення наземних трансформаторних підстанцій всередині кварталів має корелювати з новими вимогами ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» щодо наявності вільних земельних ділянок для населення при забудові нового житлового будинку. Зокрема, для будинків 4–5 поверхів вони складають 20,2–17,0 м²/особу, для 9–10 поверхів відповідно 12,2–12,0 м²/особу і для житлових будинків 11 поверхів і вище за інтерполяцією, але не менше 10,5 м²/особу.

Відмова від імпорту Україною природного газу з 2024 року передбачає впровадження електроопалення нових житлових будинків. Будівництво нових електричних станцій на ВДЕ, акумулюючих електростанцій піднімає статус енергетики на ще більш відповідальний рівень.

Необхідність використання підземного простору сучасної забудови міст підтверджується світовим досвідом і в більшій мірі впроваджуватиметься в Україні. Доцільність розміщення трансформаторних підстанцій не великої потужності під землею як і іншої міської інфраструктури дозволяє одночасно вирішити декілька найбільш важливих проблем, які стосуються забудови міста.

1. Загадки стародавнього підземелля: фантастичне місто Дерінкую. URL: <https://antonivtours.com/2017/11/zagadki-starodavnogo-pidzemellya-fantastichne-misto-derinkuyu-v-turechchini/> (дата звернення: 10.07.2024).
2. Канадські хмарочоси: не тільки вгору, але і вниз. URL: <https://theoutlook.com.ua/article/6866/kanadski-xmarochosi-ne-tilki-vgoru-ale-i-vniz.html>. (дата звернення: 10.07.2024).
3. Українська енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/zaboronu-na-eksport-hazu-prodovzhyly-na-2024-rik> (дата звернення: 10.07.2024).
4. Ринок розподільних трансформаторів. URL: <https://www.gminsights.com/industry-reports>. (дата звернення: 10.07.2024).
5. Підземні захищені підстанції. URL: <https://thepage.ua/ua/news/schneider-electric-proponuye-buduvati-pidzemni-ta-mobilni-elektrostantsii> (дата звернення: 10.07.2024).
6. Fesanghary M., Asadi S., Geem Z. W. Design of low emission and energy efficient residential buildings using a multi objective optimization algorithm. *Building and Environment*. 2012. № 49. P. 245–250.
7. Електропідстанції в підземних бункерах. URL: <https://forbes.ua/war-in-ukraine/ukraina-do-nastupnoi-zimi-mozhe-opustiti-dvi-elektropidstantsii-u-pidzemni-bunkeriyak-tse-dopomozhe-vid-rosiyskikh-raket-14022023-11723> (дата звернення: 10.07.2024).

REFERENCES:

1. Zahadky starodavnoho pidzemellia: fantastychne misto Derinkuiu. URL: <https://antonivtours.com/2017/11/zagadki-starodavnogo-pidzemellya-fantastichne-misto-derinkuyu-v-turechchini/> (data zvernennia: 10.07.2024).
2. Kanadski khmarochosy: ne tilky vhoru, ale i vnyz. URL: <https://theoutlook.com.ua/article/6866/kanadski-xmarochosi-ne-tilki-vgoru-ale-i-vniz.html>. (data zvernennia: 10.07.2024).
3. Ukrainaska enerhetyka. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/zaboronu-na-eksport-hazu-prodovzhyly-na-2024-rik> (data zvernennia: 10.07.2024).
4. Rynok rozpodilnykh transformatoriv. URL: <https://www.gminsights.com/industry-reports>. (data zvernennia: 10.07.2024).
5. Pidzemni zakhyshcheni pidstantsii. URL: <https://thepage.ua/ua/news/schneider-electric-proponuye-buduvati-pidzemni-ta-mobilni-elektrostantsii> (data zvernennia: 10.07.2024).
6. Fesanghary M., Asadi S., Geem Z. W. Design of low emission and energy efficient residential buildings using a multi objective optimization algorithm. *Building and Environment*. 2012. № 49. P. 245–250.
7. Elektropidstantsii v

pidzemnykh bunkerakh. URL: <https://forbes.ua/war-in-ukraine/ukraina-do-nastupnoi-zimi-mozhe-opustiti-dvi-elektropidstantsii-u-pidzemni-bunkeriyak-tse-dopomozhe-vid-rosiyskikh-raket-14022023-11723> (data zvernennia: 10.07.2024).

Kosakivskyi O. V., Master Degree (Vinnytsia National Technical University)

DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE OF MODERN CITIES TO IMPROVE THE CONDITION OF THE ENVIRONMENT

World trends in the use of underground space in the construction of modern cities were studied. It is shown that the underground space can be used for the needs of a modern city, in particular for the construction of commercial objects, trade and household, entertainment, cultural and educational, sports enterprises, transport networks. A well-planned and properly operated underground infrastructure increases the quality of life, energy efficiency and environmental safety to a greater extent than a similar system on the surface. At the same time, due to the placement of part of the urban infrastructure underground, the area of greenery increases and the environmental condition of large cities and their historical centers improves.

Examples of the development and rational use of the underground space of cities in Canada and other countries are analyzed, the possibility of obtaining a developed network of civil defense protective structures, equipped with all the necessary communications for people's stay, is shown, which has become especially relevant in modern war conditions.

The global experience of the construction of underground transformer stations is summarized and the prospects for the implementation of the underground construction of such facilities in Ukraine are shown. The basic problems of modern urban construction include the shortage of urban areas, the accumulation of vehicles on the roads, the lack of parking spaces, the inability of the urban infrastructure to cope with the ever-increasing load, and the deterioration of the ecological situation. Changes are shown regarding the growth of energy supply to consumers from 3 to 5 kW, and the introduction of a new player on the Ukrainian electricity market – an energy storage facility operator.

Placing up to 20–25% of urban infrastructure underground allows to reduce the energy consumption of the housing stock. In the conditions of Ukraine’s refusal to import natural gas and the transition to electric heating, mainly at the expense of RES, new residential buildings will lead to a decrease in the amount of greenhouse gas emissions, and a part of the territories of cities for greening will increase, since vegetation is a significant conservator of carbon dioxide. The underground location of transformer substations in Ukraine is substantiated and proposed for the first time, which will ensure the achievement and solution of a number of problems of modern urban planning.

***Keywords:* densification of buildings; underground space; social infrastructure; rational use of underground space; transformer substations.**