

ЗАБУДОВА ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ СУЧАСНИХ МІСТ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

¹Вінницький національний технічний університет

Досліджено світові тенденції використання підземного простору в забудові сучасних міст. Показано, що підземний простір може бути використаний для потреб міста, зокрема для забудови комерційними об'єктами, торгово-побутовими, видовищними, культурно-освітніми, спортивними підприємствами, транспортними мережами. Добре спланована й правильно експлуатована підземна інфраструктура підвищує якість життя, енергетичну ефективність і екологічну безпеку більшою мірою, ніж аналогічна система на поверхні. Водночас через розміщення частини міської інфраструктури під землю зростає площа озеленення та поліпшується стан довкілля великих міст та їхніх історичних центрів.

Проаналізовано приклади освоєння і раціонального використання підземного простору міст Канади та інших країн, показана можливість отримання розвинутої мережі захисних споруд цивільної оборони, забезпечення їх всіма необхідними комунікаціями для перебування людей, що набуло особливої актуальності у сучасних умовах війни.

Узагальнено світовий досвід будівництва підземних трансформаторних підстанцій та показані перспективи впровадження підземного будівництва таких об'єктів в Україні. До базових проблем сучасного міського будівництва слід віднести дефіцит міських територій, скупчення на дорогах транспортних засобів, відсутність місць паркування, нездатність міської інфраструктури впоратися з постійно зростаючими навантаженням, погіршенням екологічного стану довкілля. Показані зміни, щодо зростання забезпечення енергією споживачів з 3 до 5 кВт, та впровадження на ринку електроенергії України нового гравця — оператора установки зберігання енергії.

Розміщення до 20...25 % міської інфраструктури під землею дозволяє зменшити енергоспоживання житлового фонду. В умовах відмови України від імпорту природного газу і переходу до електроопалювання, переважно за рахунок ВДЕ, нових житлових будинків викличе зменшення кількості викидів парникових газів, збільшиться частина територій міст для озеленення. 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, соціальна інфраструктура, раціональне використання підземного простору, трансформаторні підстанції.

Вступ

За високої щільності міської забудови та гострого дефіциту вільних територій будівництво житла неможливе без освоєння підземного простору. В останні роки у більшості великих міст світу відмічено підвищену зацікавленість до широкого використання підземного простору.

У великих містах Японії, Китаю, Англії, Італії, Франції, Швеції, Норвегії, США та інших країн підземний простір інтенсивно розбудовується і вже накопичено 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 %.[1]

Сьогодні на часі використання підземного простору для забезпечення раціонального поєднання комерційної та соціальної інфраструктури великих міст, повернення озеленення в міста. Викорис-

тання підземного простору несе в собі численні переваги також у сферах ефективного використання простору, економічного розвитку, охорони довкілля [2], охорони здоров'я та безпеки [3].

Підземне будівництво розпочалося ще з доісторичних людей, які жили в печерах та хотіли розширити своє помешкання. Усі стародавні цивілізації практикували певну форму підземного будівництва військових складів, тунелів, інші — практикували скельну архітектуру та культові споруди. У ранніх міських центрах підземні простори забезпечували захист від загарбників і застосовувались для різноманітних потреб. В міру урбанізації країн масштаби підземного міського будівництва значно зросли, оскільки розширення міст вимагало поліпшення каналізації, громадського водопостачання, метро та інших підземних комунікацій і споруд.

Досвід використання підземного простору сучасних міст

Основною метою підземної урбаністики є вирішення основних задач створення сприятливих умов для праці, побуту, відпочинку, спорту, дозвілля міського населення та гостей міста.

Новаторами відносно нового підземного містобудування в світі стали Канада, Японія та Фінляндія. В Канаді ще в 1997 році побудоване ціле підземне місто — РАТН. У Монреалі розташоване найбільше «підземне місто» (La ville souterraine) площею 12 млн м². Для порівняння, в кращі роки незалежні Україні будується 10...11 млн м² житла в рік. Практика підземного будівництва показала, що під землею можна розміщувати не тільки те, що бажано прибрати з очей: труби, склади і навіть контейнери зі сміттям, — але й інші соціальні об'єкти. У «La ville» є майже все необхідне для життя: торгові центри, готелі, банки, музеї, університети, метро, вузли пересадки залізниці, автостанція та інші об'єкти розважальної та ділової інфраструктури.

В Монреалі ще в 50—60 роках минулого 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 [4].

За даними [5] в сучасному Монреалі підземне місто простягається на 32 км, охоплює 4 млн м², його коридори «пов'язують»: 10 станцій метро, 2 автобусних термінали, 1200 офісів, близько 2000 магазинів (зокрема, 2 великих універмаги), близько 1600 одиниць житла, 200 ресторанів, 40 банків, 40 кінотеатрів і інших розважальних закладів, 7 великих готелів, 2 університети, Олімпійський парк, Place Des Arts, собор і 3 виставкових зали (Place Bonaventure, Палац конгресів і Олімпійський центр). Але при цьому слід зазначити, що ідеальні житлові умови для жителів Канади, США, країн ЄС залишаються не змінними — це приватний малоповерховий житловий будинок (до 3-х поверхів) з зеленою поляною для квітів та місцем для паркування 1—2 авто. Водночас він має бути розміщений в екологічно чистій зоні та в межах їзди на авто протягом 30...40 хв до історичного чи ділового центру міста.

В Пекіні відповідно до озвучених та затверджених міським урядом програм, через 5 років весь транспорт з поверхні міської території має бути прибрано під землю — люди зможуть вільно пересуватися вулицями, відпочивати у парках, дихати свіжим повітрям. Підземна урбаністика розглядається, як ключ до вирішення численних проблем, які турбують усі великі міста країни, де зростаюча щільність забудови посилюється стрімким зростанням автопарку та потенційно можливими збоями у роботі громадського транспорту.

Навіть у малоповерхових приватних житлових будинках (до 3-х поверхів) у всьому світі, зазвичай, передбачають підвальні приміщення, які використовуються як спортзали, домашні кінотеатри, пральні та сушильні кімнати, майстерні, сховища для садового інвентарю тощо.

У багатьох великих містах Західної Європи та США можна зустріти комплекси багатоповерхових житлових будинків з масштабним використанням підземного простору. В Україні в останні роки за аналогією з європейськими країнами перші підземні переважно 1—2 поверхи висотних будинків зайняті громадськими приміщеннями. Під будинками та двором споруджуються підземні паркінги та службово-технічні, підсобно-складські приміщення.

У висотних будинках, збудованих раніше, в Україні в підвальних приміщеннях будинків передбачались окремі комори для кожної квартири для зберігання консервації, овочів, фруктів, інвентарю, а інша частка території підвального приміщення використовувалась для розведення інженерних систем утримання будинку.

В місті Кривий Ріг за стандартами метрополітену працює підземний трамвай. Такі метротрами

є популярними в Брюсселі, Гаазі, Сан-Франциско, Антверпені, Кракові. Загальна протяжність мережі метрограма у Кривому Розі — 26,7 км. Всього там діє 3 гілки, обладнано 15 станцій, деякі з них — підземні, естакадні, частково підземні і наземні станції. Максимальна швидкість такого трамваю становить 69 км/год [6].

Містобудівна ефективність досягається розміщення насамперед закладів торгівлі, громадського харчування, культурно-побутового та іншого призначення в штучно створеному підземному просторі міст. Підземні громадські і торгівельні центри в Києві: «Глобус» — під Майданом Незалежності, «Метроград» — під Бессарабською площею, вул. Великою Васильківською і площею Українських Героїв, «Квадрат» — під бульваром Миколи Міхновського біля станції метро та інші — підтверджують доцільність розвитку підземної урбаністики в сучасних умовах, що забезпечує економію міських територій [7].

В численних вітчизняних і зарубіжних публікаціях зазначено, та зарубіжний досвід свідчить, що для забезпечення стійкої рівноваги і комфортного проживання в міських населених пунктах частка підземних споруд від загальної площі об'єктів, що вводяться в експлуатацію, повинна наближатись до 20...25 %.

Переміщення інфраструктури сучасного міста під землю забезпечує вирішення цілої низки соціально-економічних проблем. Світовий досвід показує, що світ поступово буде відмовлятися від наявної 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.

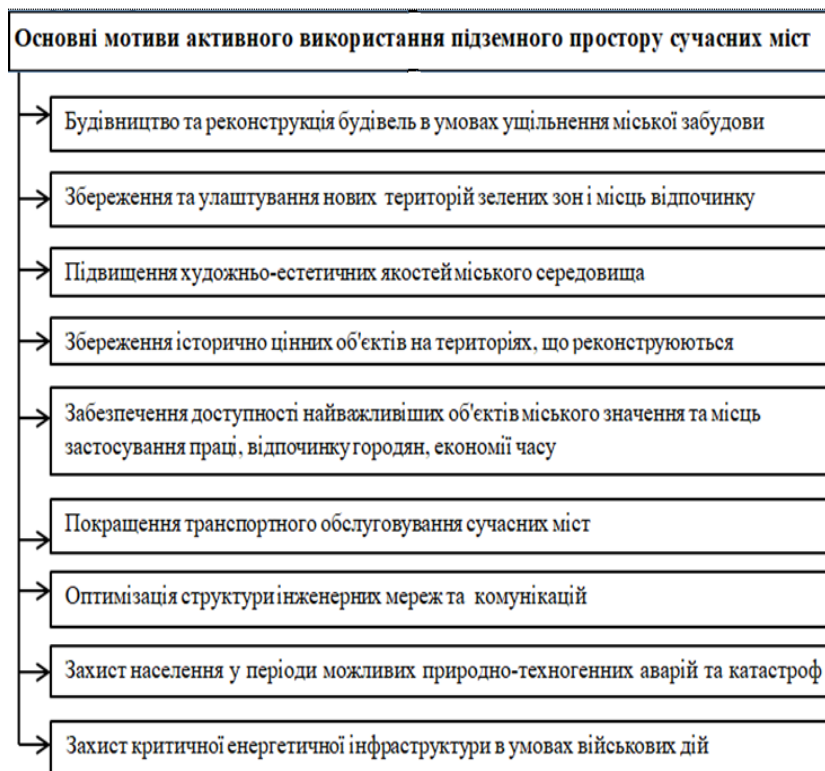


Рис. 1. Основні мотиви активного використання підземного простору сучасних міст

Рациональне використання підземного простору у великих містах сприяє поліпшенню містобудівних, екологічних, економічних, транспортних та соціальних проблем. Інші мотиви необхідності активного використання підземного простору сучасних міст узагальнені на рис. 1.

Для експлуатації підземних об'єктів енергетичні витрати на 50 % і більше нижчі ніж для експлуатації наземних. Економія за рахунок цього фактора складає від 6 до 12 дол/м². На заводі точного приладобудування в Канзас-Сіті після переведення його «під землю» потреба в енергії на опалення знизилася в 3 рази, а на охолодження — у 10 разів.

За даними норвезьких фахівців, максимальні значення встановленої потужності у підземних спортивній залі та плаваль-

ному басейні, споруджених у скельному масиві, становили 61 і 44 % від наземного, а витрата енергії протягом року становили від 70 до 44 %. Економія теплової енергії на існуючих підземних об'єктах у Фінляндії становить 74 % у холодильниках, 20 % у плавальних басейнах, 31 % у спортивних залах. Споживання теплової енергії в підземних складах та сховищах на 32 % нижче ніж у відповідних наземних споруд [8].

Зарубіжний досвід свідчить, що під землею можна розміщувати до 70 % всіх гаражів, до 40 % об'єктів дорожньої інфраструктури, 80 % складських приміщень, 50 % архівів і сховищ та 30 % об'єктів сфери послуг. Провідні фахівці з містобудування зазначають, що інтенсивне освоєння

підземного простору буде основною тенденцією в XXI ст. в умовах перенаселення великих міст і необхідності поліпшення стану міського середовища. На сьогодні з'явився навіть спеціальний термін, який підкреслює масштабність підземного будівництва — підземна урбаністика.

Підземна урбаністика (англ. Underground urbanistics) — сфера архітектури і містобудування, пов'язана з комплексним використанням підземного простору міст та інших населених пунктів, що відповідає вимогам містобудівної естетики, соціальної гігієни, а також техніко-економічної доцільності.

Розвиток сучасних інноваційних технологій дає змогу все активніше використовувати не тільки підземний, а й підводний простір для створення різноманітних функціональних об'єктів. Підземна та підводна урбаністика забезпечують можливість отримувати додаткові територіальні, енергетичні ресурси. За своїм призначенням підземні споруди можна поділити на:

- на транспортні (пішохідні та транспортні тунелі, метрополітен, автостоянки та ін.);
- промислово-енергетичні;
- сховища пально-мастильних матеріалів та холодильники;
- громадські (підприємства торгівлі, громадського харчування, спортивно-видовищні споруди та ін.);
- інженерні (тунелі та колектори тепло-, газо-, електромережі та водогони, бензопроводи автозаправні станції, водозабірні, насосні та очисні споруди);
- спеціального призначення (наукові та випробувальні споруди, оборонні об'єкти, споруди цивільного захисту та ін.).

Україна, очевидно є першою країною в світі, у якій виникла проблема необхідності приховувати під землею енергоінфраструктуру від російських ракетних та дронівих атак, які тривають протягом останніх двох років.

Будівництво підземних трансформаторних підстанцій

Припинення енергозабезпечення сучасних міст навіть на незначний проміжок часу призводить до значних економічних втрат підприємств та інших проблем.

Трансформаторна підстанція як електроустановка, призначена для прийому, перетворення (підвищення або зниження) напруги в мережі та розподілення електроенергії у системах електропостачання споживачів. За її допомогою забезпечується безперебійне подання електроенергії на об'єкти різного призначення — населені пункти, будівельні майданчики, промислові підприємства, торгові центри, шахти, дачні селища, залізничні станції, ферми та інше.

На початку 80-х років з'явилися елегазові моноблоки (типу RM6 — компанії Schneider Electric). Завдяки застосуванню сучасного електрообладнання їхня площа значно скоротилася, а потужність, що розподіляється, значно збільшилася.

Економічні переваги підземних електричних підстанцій лише з позиції стабільного електрозабезпечення оцінені на прикладі окремих міст США. Загальна річна вартість втрат через відключення електроенергії, пов'язаних лише з погодними умовами, оцінюється у \$18...33 млрд. На основі підвищення надійності медіа, Scenic America підрахувала, що по всій країні від стабільності електрозабезпечення заощадження складуть \$17,1 млрд. Через перебої в подачі електроенергії виробники продукції недоотримуть прибутки.

У Канаді першу підземну трансформаторну станцію введено в експлуатацію ще в 1984 році. Вона розташована в парку Соборної площі в центрі Ванкувера, під фонтаном та пішохідними доріжками. У центрі Торонто станція Copeland побудована під наявним механічним цехом [9]. У США першу підземну електричну підстанцію побудовано в 2011 році під парком площею два акри в Анахаймі. (1 акр дорівнює 0,405 гектара). Підземна підстанція в Анахаймі, Каліфорнія, США розташована під міським парком Теодора Рузвельта. [10].

За даними ООН збитки енергосистеми України від війни без урахування руйнації Каховської ГЕС сягнули понад \$10 млрд. Згідно зі звітом, складеним незадовго до підриву Каховської греблі, 42 із 94 високовольтних трансформаторів на підконтрольних уряду України територіях були пошкоджені або зруйновані внаслідок ракетних ударів та атак безпілотників. Потужність електрогенерації в Україні скоротилася майже на 50 % у порівнянні з рівнем до 2022 року. Ситуація ускладнюється значним скороченням маневрених потужностей, зокрема втратою понад 67 % потужностей теплової генерації, які постійно піддаються обстрілам і руйнуванню. Ще з осені 2022-го росія регулярно почала обстрілювати енергоінфраструктуру України. У грудні з ладу виведено половину енергосис-

теми країни. Станом на лютий місяць 2022 року українська енергетична галузь була однією з найпотужніших в Європі, але зазнала значних пошкоджень в результаті російської війни. Масовані атаки енергетичної інфраструктури, особливо трансформаторних підстанцій, минулої зими призвели до значних руйнувань об'єктів енергетики. Щоб дати енергокомпаніям додаткові кошти для відновлення Уряд у травні 2023 року ухвалив рішення підвищити тарифи на електроенергію для населення. Тоді тарифи зросли з 1,68 грн/кВт-год до 2,64 грн/кВт-год.

Необхідність швидкого і якісного відновлення енергетичної системи України диктується і тим, що з 2024 року Україна вперше відмовилась від імпорту природного газу і офіційно заявила про перехід до електроопалення нових житлових будинків. Обсяг власного видобутку природного газу в останні роки в Україні складав 18...20 млрд м³, в 2023 році власний видобуток становив 18,6 млрд м³, в попередні роки до війни Україна докуповувала 12...13 млрд м³, через так званий реверс, від європейських компаній.

Через війну і відмову Європи від російського природного газу Україна може отримати дорогий зріджений метан у разі введення в дію газопроводу між Україною і Польщею, оскільки Польща має причали для прийому зрідженого метану. Зріджений метан отримують шляхом охолодження природного метану за температури мінус 162 °С, що є високоенергомістким процесом. З одного м³ зрідженого газу утворюється 600...660 м³ звичайного газу. Україні отримати зріджений метан морським шляхом через Чорне море і Туреччину неможливо через давню відмову Туреччини пропускати кораблі через Босфор. В 2022 році вперше за 40 років Туреччина збільшила тарифи за прохід торгових суден через Босфор та Дарданелли, на цьому країна заробить до \$200 млн. Використання та зростання інфраструктури ВДЕ прискорює зростання ринку відповідного енергетичного обладнання, зокрема і відповідних трансформаторних підстанцій, та іншого обладнання. За даними [11] у 2023 році ринок розподільних трансформаторів енергопостачання оцінювався в \$15,3 млрд, і в період з 2024 по 2032 рік його CAGR буде зростати понад 7,9 %. (CAGR — сукупний середньорічний темп зростання у %).

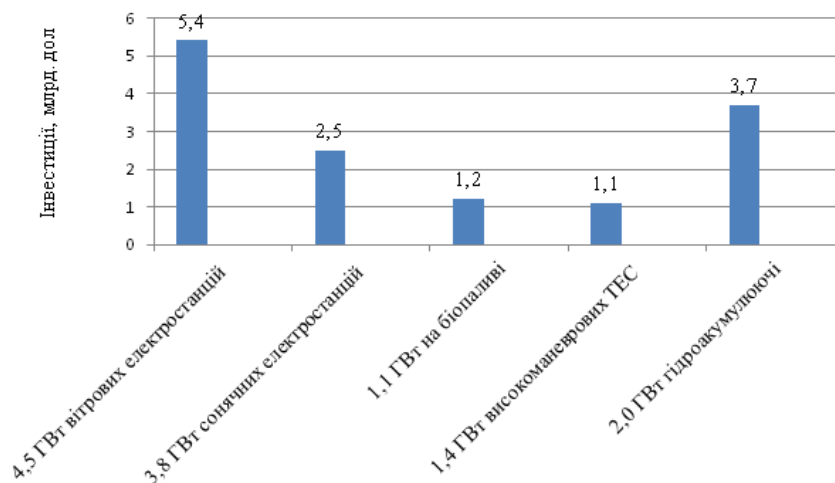


Рис. 2. Структура інвестицій в будівництво нових електростанцій України в найближчі 5—10 років

За принципами переходу до зеленої енергетики та планами НЕК «Укренерго» протягом найближчих 5—10 років країна планує інвестувати \$15 млрд для підвищення потужності та гнучкості енергосистеми. Структура запланованих інвестицій в будівництво нових електростанцій в найближчі 5—10 років показана на рис. 2.

Як видно з рис. 2, пріоритет для інвестування будівництва нових електростанцій надано саме електростанціям,

які базуються на використанні ВДЕ та новому будівництві гідроаккумуляційних електростанцій.

Запорізький трансформаторний завод один з 5 стратегічних підприємств України, який урядом примусово відчужено для потреб воєнного часу, тепер працюватиме на оборону. Номенклатура продукції ПрАТ «ЗТР» включає силові масляні трансформатори різного призначення потужністю від 1 МВА до 1250 МВА та класи напруги від 10 кВ до 1150 кВ включно, електричні реактори та керовані шунтувальні реактори. Також завод може виробляти трансформатори з елегазовою ізоляцією.

Вперше в історії України з 16 червня 2022 року став чинним Закон «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії», який визначив поняття діяльності зі зберігання енергії, запровадив вимоги щодо ліцензування такої діяльності. Закон вводить на ринок електроенергії нового гравця — оператора установки зберігання енергії («Оператор УЗЕ»). Його діяльність буде пов'язана з експлуатацією установок, зберіганням енергії, відбором такими УЗЕ електроенергії з метою її використання в майбутньому для власних потреб, зберігання і подальшого відпуску електроенергії в мережі.

Потреба країн світу в зміні економічного курсу та переходу до кліматично нейтральної економіки зумовлена наростанням глобальних екологічних проблем, які значно похитнули стійкість економічних систем різних країн світу. В межах проєкту Другого національно визначеного внеску України на виконання своїх зобов'язань відповідно до Паризької кліматичної угоди Україна взяла на себе зобов'язання досягти амбітних цілей щодо скорочення викидів парникових газів на 65 % у 2030 році від рівня 1990 року.

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

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

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. Поступова відмова від використання викопних видів палива сприятиме декарбонізації довкілля, адже спалювання 1 т кам'яного вугілля супроводжується викидами 2,7...2,8 т CO₂, бензину, паливного мазуту, дизелю, керосину — 3 т/CO₂ [12].

На початку 2023 року український уряд підтвердив свої зобов'язання, які стосуються поступового припинення генерації електроенергії за рахунок спалювання кам'яного вугілля до 2035 року та поступового зменшення використання природного газу, як проміжного виду палива, оголосивши про плани зростання генерації енергії за рахунок ВДЕ та переходу до зеленого будівництва та кліматично нейтральної енергетичної системи до 2050 року.

Розвиток ВДЕ (сонячних і вітрових електростанцій)

У випадку великої частки ВДЕ в енергосистемі (більше 10 %), відмінності добових графіків виробітку електроенергії джерелами, що використовують ВДЕ, і її споживання потребують додаткового узгодження, яке може бути реалізоване саме за рахунок систем накопичення енергії.

Атомна енергія, як і енергія вітру та сонця, не завдає великої шкоди клімату з погляду викидів CO₂. Однак загрози безпеці та проблема утилізації радіоактивних відходів не дозволяють їй стати на один щабель з ВДЕ. Питання віднесення атомної енергії до розряду зеленої на сьогодні залишається дискусійним. Цілком очевидно, що майбутня енергетика має базуватися переважно на розширенні ВДЕ.

Через обстріли та окупацію Україна втратила 75 % вітрової генерації та більше 20 % — сонячної. Це суттєві втрати для нашої енергосистеми. Але на сьогодні, навіть у таких умовах, відновлювані джерела роблять суттєвий внесок в енергобаланс країни. Стимулювання розвитку відновлюваної енергетики — це один із пріоритетів Енергетичної стратегії України.

Раніше в Україні діяла норма, за якою мінімальним для побутових споживачів електроенергії було споживання на рівні 3 кВт. Тобто, ми в наших квартирах, теоретично маємо 3 кВт. Однак у березні 2021 НКРЕКП внесла зміни, відповідно до яких мінімальним має бути приєднання на рівні споживання 5 кВт. Отже, Комісія ухвалила рішення, що тепер, якщо будується, наприклад, новий будинок (зокрема багатоквартирний), то в розрахунках потреб електрики буде закладатись мінімальна норма у 5 кВт. Щодо будинків, які були збудовані раніше, то ухвалено рішення, що протягом двох років облenerго мають максимально перевести споживачів на цю збільшену потужність.

В умовах ущільнення територій при забудові міст навіть наявні застарілі трансформаторні підстанції не завжди «вписуються» до дворової інфраструктури. 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 селищних територій усіма видами зелених насаджень повинен складати 35 %; промислових територій 25 %; шкіл і дошкільних навчальних закладів 60 %; лікарень 40 %.

Традиційна застаріла трансформаторна підстанція потребує багато площі існуючого дворового простору. Вона виготовлена з цегли, передбачає можливість кругового під'їзду транспорту для заміни технологічного обладнання та його обслуговування. Рекреаційні ділянки для мешканців житлової забудови мають формуватись зеленими насадженнями, дитячими ігровими та фізкультурно-спортивними майданчиками. На сьогодні при забудові сучасних житлових будинків відповідно до вимог ДБН передбачені наземні трансформаторні підстанції, обов'язкове влаштування пандусів для переміщення маломобільних груп населення, дороги, для забезпечення проїзду пожежних машин, швидкої допомоги, стоянки для авто, які суттєво ущільнюють і поглинають багато прибудинкової території.

В розвинених країнах світу, на відміну від України, широко використовується підземний простір, зокрема і для будівництва підземних трансформаторних підстанцій.



Рис. 3. Зовнішній вигляд трансформаторної станції, м. Вінниця

На рис. 3 показано зовнішній вигляд наземної трансформаторної станції. Така підстанція навіть з естетичних міркувань не вписується в сучасний інтер'єр прибудинкової території, оскільки члени ОСББ (об'єднання співласників багатоповерхового будинку) по суті стають власниками прибудинкової земельної ділянки і зацікавлені в покращенні зовнішнього вигляду двору та раціональному використанні прибудинкової території для потреб дітей, пенсіонерів, переміщення маломобільних категорій населення.

Вимоги нових ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» передбачають наявність вільних земельних ділянок для розміщення окремого житлового будинку. Зокрема, для будинків 4—5 поверхів вони мають складати 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, але ці норми досить часто порушуються у новому будівництві на користь девелоперів.

Підземні камери для трансформаторів виготовляються у вигляді об'ємного будівельного блоку з дахом, що знімається, або з розмірами люка, який дозволяє зручно встановлювати і піднімати трансформатор, а камера забезпечує примусову вентиляцією обладнання. Підземна підстанція в Анахаймі, Каліфорнія, США розташована під міським парком Теодора Рузвельта.

Відома німецька фірма Betonbau реалізує підземні бетонні комплексні трансформаторні підстанції (БКТП) серії UW 630–1250 кВА. Вони застосовуються, як розподільні та споживчі підстанції на напругу до 35 кВ і розміщуються в підземному просторі у вигляді окремих контейнерів. В бетонних стінах підстанції передбачені технологічні отвори для закладки кабелю, вони відлиті з алюмінієвих сплавів, забезпечують можливість приєднання до будь-яких стандартних кабелів, що широко використовуються в енергетиці сьогодні. Підземні підстанції Betonbau представлені такими різновидами: БКТП UW 3048; БКТП UW 3054; БКТП UW 3060. У середині підземних підстанцій Betonbau можлива установка високовольтних шаф, ізольованих повітрям і газом SF₆, трансформаторів до 1000 кВА, розподільних щитів низької напруги з струмовим навантаженням до 1600 А, розподільних шаф USM. [13].

В європейських країнах швидко зростає кількість компактних підземних трансформаторних підстанцій. Міжнародна компанія ORMAZABAL, з головним офісом у Франції, спеціалізується на виробництві середньовольтного та низьковольтного розподільного електроустаткування, а також випускає засоби промислової автоматизації. Їхні підстанції легко впізнати за вентиляційними отворами (рис. 4).

В 2020 році в усьому світі 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 з внутрішнім коридором обслуговування; малогабаритні трансформаторні підстанції в бетонному корпусі; контейнерні трансформаторні підстанції в металевому корпусі; підземні трансформаторні підстанції.

На електротехнічному ринку України швидко зростає зацікавленість до блочних комплектних трансформаторних підстанцій в бетонному корпусі (БКТПБ). Значна частина силових масляних трансформаторів, що експлуатується в електроустановках в Україні та інших пострадянських країнах застаріла, вичерпала свій ресурс, потребує їхньої заміни на сучасні високотехнологічні пожежо- та вибухобезпечні трансформатори. До таких трансформаторів насамперед відносяться саме силові елегазові трансформатори. Використання в силових елегазових трансформаторах як ізоляції і хладоагента негорючого елегазу (гексафторида сірки — SF_6) вирішує головну проблему пожежо- безпеки традиційних масляних трансформаторів, виключає необхідність облаштування протипожежного обладнання, маслозбірників і стічних каналів.

В деяких країнах Європи і в США виробляються малопотужні масляні трансформатори (зазвичай до 100 кВА) для використання під землею. Підземні камери для трансформаторів виконуються у вигляді об'ємного будівельного блока з дахом, що знімається, або з розмірами люка, що дозволяють зручно встановлювати і піднімати трансформатор; камера забезпечується примусовою вентиляцією.

Німецька фірма Betonbau реалізує підземні бетонні комплектні трансформаторні підстанції (БКТП) серії UW 630–1250 кВА. Вони застосовуються, як розподільні та споживчі підстанції напругою до 35 кВ. У середині підземних підстанцій Betonbau серії UW 630–1250 кВА можлива установка високовольних шаф, ізованих повітрям і газом SF_6 , трансформаторів до 1000 кВА, розподільних щитів низької напруги зі струмовим навантаженням до 1600 А.

Підземну підстанцію можна змонтувати в будь-якому відповідному місці (рис. 5). Такі підземні та заглиблені підстанції випускаються у вигляді готових бетонних модулів з уже встановленим обладнанням, тобто є повністю готовими мережевими спорудами.



Рис. 4. Зовнішній вигляд трансформаторної станції французької компанії ORMAZABAL



Рис. 5. Фрагмент монтажу підземної трансформаторної підстанції

Підземні трансформаторні підстанції планується виробляти в Казахстані шляхом спільного виробництва компаній ТОВ «Спецелектра» Казахстан та «JET VILL» Угорщина. Цей тип підстанції пропонується для покращення зовнішнього вигляду та підвищення безпеки центрів міст, прогулянкових вулиць, розташованих у людних районах, парків, територій, прилеглих до пам'яток — скрізь, де важливе збереження зовнішнього вигляду міста. Одним з популярних постачальників підземних підстанцій є польське підприємство ZPUE.

Технологія виконання земляних робіт, підготовка та бетонування основи під монтажні блоки і сам їхній монтаж виконуються швидко і не завдають незручностей та додаткових проблем оточенню.

Польське підприємство ZPUE виробляє підземні підстанції, які встановлені у багатьох європейських містах (рис. 6). 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. Такі 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.



Рис. 6. Фрагмент польських підземних підстанцій ZPUE

Як видно з рис. 6 така трансформаторна підстанція легко вписується в інтер'єр сучасного двору і потребує малої площі прибудинкової території. Наявність елегазових трансформаторів в підземних підстанціях забезпечує низку переваг: відсутність необхідності спорудження спеціальної системи масловідводів, масло приймачів та маслозбірників; зменшується пожежо- та вибухобезпека.

Фахівці НЕК «Укренерго» зазначають, що високовольтні автотрансформатори 330 та 750 кВ мають значні розміри та масу, під час роботи виділяють багато тепла і можуть нагріватися до 90° і вище. Якщо тепло не буде ефективно відводитися, то обладнання від перегрівання може вийти з ладу. Мінімальна глибина котловану для підземного проекту — близько 25 метрів, що адекватно закопуванню 9-ти поверхового будинку під землю. Будівництво таких підземних підстанцій не буде непоміченим, є високозатратним і сьогодні не розглядається.

За аналогією з країнами ЄС в перспективі українські малопотужні трансформаторні підстанції можуть переміщуватися з сьогоднішніх парків, дворів в підземний простір. Підземний простір в перспективі можна успішно використовувати для міської інфраструктури та будівництва акумулювальних електростанцій.

Висновки

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

Проектування 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 під час забудови 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.

Переміщення під землю стоянок автотранспорту, інших соціальних об'єктів забезпечує низку переваг, зокрема і зменшення енергоспоживання таких об'єктів, звільняє дворову територію для

озеленення, занять спортом відпочинку та інших цілей.

Відмова від імпорту Україною природного газу з 2024 року передбачає впровадження електроопалення нових житлових будинків. Будівництво нових електричних станцій на ВДЕ, акумулювальних електростанцій зменшує витрати на влаштування систем опалення.

Вперше в історії України запроваджений механізм діяльності зі зберігання енергії. Закон вводить на ринку електроенергії нового гравця — оператора установки зберігання енергії («Оператор УЗЕ»). Його діяльність буде пов'язана з експлуатацією установок зберігання енергії з метою її використання в майбутньому для власних потреб, подальшого відпуску електроенергії в мережі.

Необхідність використання підземного простору сучасної забудови міст підтверджується світовим досвідом і впроваджуватиметься в Україні. Доцільність розміщення трансформаторних підстанцій невеликої потужності під землею, як і іншої міської інфраструктури, дозволяє одночасно вирішити декілька найважливіших проблем, щодо забудови міста.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. Ф. Осипов, Є. В. Літнарівич, «Технологія влаштування фундаментів на схилах.» *Містобудування та територіальне планування*, наук.-техн. зб., вип. 17, с.44-45, 2019 .
- [2] Г. Кознарська, «Освоєння підземного простору як засіб раціонального використання території для розвитку сучасного міста.» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, № 1 (9), с. 98-104, 2023.
- [3] С. В. Риндюк, і М. А. Максименко, «Освоєння підземного простору як вирішення проблем урбанізації міст.» *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, НТЖ, т. 29, № 2, с. 101-107, 2020.
- [4] *Канадські хмарочоси: не тільки вгору, але і вниз.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://theoutlook.com.ua/article/6866/kanadski-xmarochosi-ne-tilki-vgoru-ale-i-vniz.html> .
- [5] *Підземне місто Монреаля.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://turnavigator.com.ua/%D0%BF%D1%96%D0%B4>.
- [6] Єдиний в Україні: що таке метроtram для Кривого Рогу і чого у місті не збудували метро.[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://region.dp.ua/iedynuj-v-ukraini-shcho-take-metrotram-dlia-kryvoho-rohu-i-choho-u-misti-ne-zbuduvaly-metro/> .
- [7] О. В. Чемакіна, і Ю. О. Бондар, «Шляхи підвищення ефективності використання міських територій.» *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, наук.-техн. зб., № 16, с. 230-237, 2006, Київ: КНУБА.
- [8] M. Fesanghary, S. Asadi, and Z. W. Geem, "Design of lowe mission and energyefficient residential building susing a multi objective optimization algorithm," *Building and Environment*, № 49, pp. 245-250, 2012.
- [9] *Toronto Hydro*, 2017..[Electronic resource]. Available: <http://www.torontohydro.com/sites/> . Accessed: 14 Feb. 2017]
- [10] *Park Substation, Park Above Underground Electric Substation is the First in the United States, city of Anaheim, California.* [Electronic resource]. Available: <http://www.anaheim.net/977/Park-Substation> .
- [12] *Ринок розподільних трансформаторів.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.gminsights.com/industry-reports> .
- [13] В. Р. Сердюк, і К. В. Бауман, «Пріоритети у використанні викопного палива та утриманні житлового фонду.» *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, т. 33, № 2, с. 211-221, 2022.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 19.02.2024

Сердюк Василь Романович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: vasromvs@gmail.com ;

Косаківський Олександр Вікторович — студент факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, e-mail: kosakivskiy85@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. R. Serdiuk¹
O. V. Kosakivskiy¹

Development of Underground Space of Modern Cities to Improve the Condition of the Environment

¹Vinnitsia National Technical University

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 institutions, entertainment, cultural and educational, sports facilities, transport networks. A well-planned and properly operated underground infrastructure improves the quality of life, energy efficiency and environmen-

tal 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.

Serdiuk Vasyl R. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture. e-mail: vasromvs@gmail.com ;

Kosakivskiy Oleksandr V. — Student of the Department of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, e-mail: kosakivskiy85@gmail.com