

УДК 711.4:624.15:351.78

Чушкін А. С., студент гр. 192-24-2

Науковий керівник: Хозіякіна Н. В., к.т.н., доцент, кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БУДІВНИЦТВА TOP-DOWN ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПІДЗЕМНИХ УКРИТТІВ І БЕЗПЕЧНОГО МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА В УКРАЇНІ

Метод Top-Down (зверху-вниз) стосується насамперед будівництва підземної частини, але його особливість у тому, що надземні роботи починаються ще до завершення підземних робіт - тобто обидві частини будівництва ведуться паралельно. Метод застосовується саме тоді, коли є глибокі підземні рівні (паркінги, технічні приміщення, міський підземний простір, метро, тощо).

У статті розглянуто сутність методу, наведено ключові міжнародні приклади, оцінено використання в Україні, проаналізовано будівельні матеріали, екологічні та економічні аспекти і перспективи застосування мультифункціональних просторів [1].

Сутність методу та технологічна послідовність. Top-Down відрізняється від класичного bottom-up (знизу-вгору) тим, що після влаштування огорожувальної стінки та опорних елементів, в якості яких можуть бути - буронабивні палі, пальові стіни та шпунтові огорожі першими бетонується верхні плити (рівні підлоги), які слугують як тимчасові/постійні розпірки для огорожувальної конструкції (рис. 1).



Рисунок 1 – Метод Top-Down (зверху-вниз) технологія зведення підземної частини будівель та інженерних споруд, за якої зведення підземної та надземної частин виконується паралельно

Після цього поступово ведеться розробка ґрунту під проробленими отворами у плитах, монтуються нижні рівні підземних поверхів, інженерні комунікації й одночасно здійснюється зведення надземної частини. Кожна вкладена плита підвищує жорсткість системи і знижує бічні деформації огорожі котловану [1].

Top-Down є оптимальним вибором, коли: проект має $\geq 2-3$ підземні рівні; майданчик розташований у щільній міській забудові з обмеженим простором для розміщення техніки; необхідно мінімізувати простій транспортної інфраструктури чи доступ до суміжних об'єктів; підвищені вимоги щодо захисту сусідніх споруд від деформацій і вібрацій.

Завдяки паралельності робіт він часто скорочує загальний календарний графік при великих структурах [2, 3].

Міжнародний досвід: кейси та практичні висновки.

1. **Малайзія (KLCC та суміжні проєкти).** Дослідження та кейси з Куала-Лумпура демонструють, що в щільному центральному районі Top-Down дозволяє одночасно виконувати підземні паркінги та надземні роботи, значно скорочуючи тривалість впливу на міське середовище. Водночас підрядники підкреслюють важливість ретельного планування ступенів робіт і контролю якості бетонування [3].

2. **Австралія (Crown Sydney та інші проєкти в Сідней).** Тут Top-Down застосували для скорочення термінів будівництва на дуже дорогих ділянках узбережжя, коли мінімізація порушень функціонування прибережної інфраструктури була критичною. Паралельне будівництво підземної й надземної частин дало змогу пришвидшити графік і знизити непродуктивні простої [4, 5].

3. **Інші азійські та близькосхідні приклади.** У Тегерані, Досі та інших мегаполісах метод успішно застосовувалися для підземних паркінгів і торгових сегментів у щільній забудові. Дослідження підкреслюють, що економічна доцільність залежить від взаємозв'язку вартості робіт і економічної вигоди від коротшого терміну реалізації [6, 7].

Український досвід і нагальні виклики. В Україні безпосередні публічні кейси саме з класичною схемою Top-Down в масштабі великих комерційних забудов не так широко представлені у відкритих джерелах, але є помітні тренди: перетворення підземних просторів (метро, підвали, навчальні й громадські бункери) на захищені простори, що стало критично важливим під час та після 2022 року. Міські адміністрації та донорські програми реалізують проєкти підземних шкіл, укриттів та адаптації існуючих підземель під потреби цивільного захисту. Наприклад, будівництво підземних шкіл і облаштування укриттів у містах, що стоять поруч із високими ризиками [8].

Потрібно виділити декілька моментів для України: наявні підземні мережі (метро, підвали) вже виконують роль укриттів, і це дає базу для інтеграції підземних громадських функцій [9]; масштабне впровадження Top-Down потребує навчання підрядників, інвестицій у обладнання та адаптації регуляторної бази; у контексті відбудови та підвищення стійкості інфраструктури Top-Down може стати одним із інструментів створення мультифункціональних підземних просторів (освітні, медичні, транспортні, притулки) [1].

Матеріали та інженерні рішення. Top-Down не диктує унікальних нових конструкційних матеріалів, але має специфічні вимоги до якості бетону, гідроізоляції та методів влаштування огорожувальних конструкцій. Зокрема: *бетони підвищеної ранньої міцності* (щоб уникнути довгих простоїв при чергуванні робіт); *армовані монолітні плити* зі спеціальними технологічними отворами для екскавації нижніх рівнів; *пальові огороження* (буронабивні палі, анкери) з належним контролем осьових відхилень; *системи дренажу й насосні рішення* для контролю ґрунтових вод під час поступового заглиблення.

Коректний підбір матеріалів і контролю якості стає ключем до забезпечення довговічності підземних просторів та гідроізоляції, особливо якщо підземні приміщення мають слугувати укриттям або громадськими просторами [1].

Екологічна складова та стійкість. Позитивні моменти: менший простір відкритого котловану знижує прямі викиди пилу та шуму на поверхні; швидша реінтеграція благоустрою дозволяє оперативніше відновити зелені зони й дорожню мережу.

Негативні ризики: потреба в інтенсивному використанні бетонних матеріалів (вуглецевий слід), складність герметизації (ризик підсопу ґрунтових вод) і потенційні проблеми поводження з витісненими ґрунтами.

Щоб зменшити екологічний вплив, рекомендується застосовувати низьковуглецеві суміші, циркулярні підходи до утилізації ґрунтів та комплексний енергоефективний проєкт інженерних мереж підземних просторів [2].

Практичні дослідження показують, що в щільних міських умовах з високими витратами на прості Top-Down часто компенсує збільшені технологічні витрати за рахунок скорочення загального циклу та ризиків. Проте при невеликих глибинах чи відсутності потреби в швидкому відновленні поверхні Bottom-Up може виявитися економічно вигіднішим [2].

Підземний міський простір і роль у сучасних викликах (укриття, мультифункціональність). Сучасні міста дедалі активніше розглядають підземні простори як ресурс: не лише для паркінгів чи комерції, а й для укриттів, навчальних приміщень, центрів охорони здоров'я та інфраструктури критичної важливості.

В Україні після 2022 року підземні простори (метро, шкільні укриття, адаптовані підвали) відіграють важливу соціальну функцію у якості захисту населення, забезпечення безперервності освіти й сервісів. Метод Top-Down може стати інструментом планового створення нових захищених просторів при одночасній мінімізації впливу на поверхню. Для цього необхідні цілеспрямовані інвестиції, стандартизація конструкцій укриттів та інтеграція цивільного захисту у міське проектування [8].

Технологічна складність, потреба у висококваліфікованому інженерному нагляді, витрати на спеціалізоване обладнання, складні питання гідроізоляції та управління ґрунтовими водами.

Рекомендації для впровадження в Україні: пілотні проекти у великих містах (підземні паркінги, школи-укриття) з обов'язковим моніторингом деформацій та гідрогеології; навчальні програми для підрядників і проектувальників; адаптація технічних норм і стандартів під Top-Down з огляду на потреби цивільного захисту; використання цифрового моделювання (FEA/PLAXIS/Phase2) для попереднього прогнозування деформацій та контролю послідовності робіт; інтеграція підземних просторів у стратегічні плани міст як частини системи захисту населення [1].

Висновки. Top-Down - відпрацьований в міжнародній практиці метод, який особливо корисний в умовах щільної забудови й для проектів, де критично важлива мінімізація впливу на поверхню й швидкість реалізації.

У контексті України цей метод має подвійний потенціал: як інструмент для прискореної відбудови та модернізації міської інфраструктури, і як спосіб цілеспрямованого створення підземних захищених просторів (школи-укриття, паркінги-укриття, медичні підструктури).

Для широкого впровадження потрібно поєднання пілотних проектів, підготовки кадрів, адаптації норм і залучення фінансування [1].

Перелік посилань:

1. Construction Industry Research and Information Association. (2017). *Guidance on embedded retaining wall design (C760)* [Електронний ресурс]. – London: CIRIA. – Режим доступу: <https://www.ciria.org/ItemDetail?iProductcode=C760>
2. Wong J. Y., Yip C. S., Mugumya K. L., Tan B. H., Anwar M. P. «Effectiveness of Top-Down Construction Method in Malaysia» [Електронний ресурс] // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. – 2019. – Vol. 8, Issue 6S4. – С. 386-392. – Режим доступу: <https://www.ijitee.org/portfolio-item/f10780486s419>
3. Jing-Ying Wong, Chun-Chieh Yip, Kevin Luwemba Mugumya, Bing-Hong Tan, Mohammed Parvez Anwar. Effectiveness of Top-Down Construction Method in Malaysia/ *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*/ Volume-8, Issue-6S4, April 2019. P. 386-392. DOI: 10.35940. URL: [F10780486S419.pdf](https://www.ijitee.org/portfolio-item/f10780486s419.pdf)
4. How Crown Sydney pioneered top-down construction [Електронний ресурс] // *Global Construction Review*. – 10.02.2021. – Режим доступу: <https://www.globalconstructionreview.com/how-crown-sydney-pioneered-top-down-construction>

5. KLCC North East Car Park – Top-Down Construction Demonstration [Електронний ресурс] // *YouTube*. – Відео навчального характеру. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=r4nGdJ2d2Vw>
6. Ukrainian front-line school system goes underground to protect against bombs and radiation [Електронний ресурс] // *AP News*. – 31.10.2024. – Режим доступу: <https://apnews.com/article/246975f9ac147ff4e8e6e60961f6f5e5>
7. Top-Down Construction Method: A Case Study of Commercial Building in Tehran. Seyed Hossein Zargar i Seyed Mostafa Mirmohammadi. May 2018, 11th International Congress on Civil Engineering, University of Tehran <https://www.researchgate.net/publication/330313785>
8. AP / Reuters / міжнародні публікації про будівництво підземних шкіл і облаштування укриттів в Україні (приклади Zaporizhzhia, адаптації шкіл/метро під укриття). https://apnews.com/article/russia-ukraine-nuclear-shelter-bunker-schools-chernobyl-zaporizhzhia-246975f9ac147ff4e8e6e60961f6f5e5?utm_source=chatgpt.com
9. Yaffa, J. Inside Kyiv's Metro, a Citywide Bomb Shelter [Електронний ресурс] // *The New Yorker*. 14.03.2022. – Режим доступу: <https://www.newyorker.com/magazine/2022/03/14/inside-kyivs-metro-a-citywide-bomb-shelter>