

# СУЧАСНІ МЕТОДИ БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ СПОРУД ТУНЕЛЬНОГО ТИПУ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ

Олександр МАХИНЯ<sup>1</sup>, Назар ЯРЕМКО<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури

<sup>1,2</sup>Проспект Повітряних сил, 31, Київ, Україна, 03037

[1makhynia.om@knuba.edu.ua](mailto:makhynia.om@knuba.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7167-2857>

[2yaremko\\_ny-2025@knuba.edu.ua](mailto:yaremko_ny-2025@knuba.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-8897-6774>

**Анотація.** В статті наведена класифікація та проаналізовані сучасні методи будівництва підземних споруд тунельного типу відкритим способом.

На сьогодні зведення підземних споруд тунельного типу виконують відкритим чи закритим способом, у яких виконання робіт здійснюється із розкриттям денної поверхні ґрунту та, відповідно, без розкриття. Відкритий спосіб будівництва підземних споруд передбачає зведення тунельної конструкції в межах відкритої виїмки з подальшим засипанням конструкції ґрунтовим матеріалом після завершення будівельних робіт. Його застосовують у випадках, коли профіль тунелю є мілкою закладання, а розкриття котловану з поверхні є технічно можливим, економічно доцільним та допустимим з точки зору містобудівних та екологічних умов. Відкритий спосіб широко використовують для спорудження транспортних шляхопроводів (підземних переходів), вхідних та вихідних ділянок тунелів гірничого способу проходки, а також тунелів у рівнинній місцевості або в умовах, де доцільно розміщувати споруду на незначній глибині.

Для спорудження споруд тунельного типу відкритим способом застосовують наступні методи: котлованний, траншейний і «зверху-вниз» (top-down).

При будівництві котлованним методом застосовують виїмки із похилими (природними) укосами, вертикальними укосами (стінами) чи комбінованими укосами. Метод забезпечення стійкості укосів котловану чи траншеї суттєво впливає на вартість зведення тунелів. Вертикальні стіни виїмок влаштовують тимчасовими чи постійними. До тимчасових відносять шпунтові кріплення та кріплення схилів набризк-бетоном чи шляхом заморожування ґрунту. До постійних

вертикальних стін виїмок відносять пальове кріплення, стіни в ґрунті, кріплення, що виготовлені за струменевою технологією.



**Олександр Махиня**

Доцент кафедри

будівельних технологій

Кандидат технічних наук



**Назар Яремко**

Аспірант кафедри

будівельних технологій

Траншейний метод будівництва тунелів характеризується тим, що огорожувальні конструкції котловану стають стіновими конструкціями тунелю. Це дозволяє створити жорстку систему із високою несучою здатністю порівняно з гнучкими системами, що, в свою чергу, дає змогу ефективно сприймати значні ґрунтові та гідростатичні навантаження. Важливою перевагою є можливість інтеграції жорстких огорожувальних стін у постійну конструкцію тунелю та поєднати функції тимчасового кріплення котловану і несучих елементів споруди і, відповідно, знизити загальну вартість будівництва.

У випадках, коли траса тунелю викликає перешкоди для руху транспорту, може бути застосований метод «зверху-вниз» (top-down). У якому спочатку зводять стіни тунелю, зводять перекриття (покрівлю) тунелю, яке жорстко з'єднується з огорожувальними стінами. А потім виконують зворотню засипку

грунту і відновлюють порушене дорожнє покриття. Під захистом покрівлі тунелю закінчують будівництво інших елементів тунелю.

На основі аналізу виявлено, що основний напрям підвищення ефективності тунельного будівництва полягає у застосуванні огорожувальних конструкцій, які здатні одночасно виконувати функції тимчасового кріплення та постійних несучих елементів споруди. Такі конструкції зводять методом «стіна в ґрунті», методом буросічних паль чи суцільної пальової стіни.

**Ключові слова:** підземна споруда, тунель, методи будівництва, котлован, паля, буросічні палі, пальова стіна, стіна в ґрунті, метод «зверху-вниз».

### ВСТУП

Основною проблемою будівництва підземних споруд неглибокого закладання полягає у необхідності забезпечення конструктивної стійкості тунелів при одночасному мінімальному втручанні у природні та техногенні умови будівельного майданчика. Вибір технології виконання робіт ускладнюється різноманітністю ґрунтових умов, присутністю ґрунтових вод, ризиками осідань та необхідністю забезпечення водонепроникності конструкцій. Крім того, характерною для міських територій є обмеженість будівельного простору, що унеможливує застосування окремих методів будівництва. При цьому неправильний вибір технології будівництва тунелів може призвести до деформацій фундаментів прилеглих будівель, пошкодження комунікацій, локальних обвалів, фільтрації ґрунтових вод і значного збільшення вартості будівництва.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У роботі [1, 7] наведені вимоги та підходи до проектування і будівництва підземних споруд тунельного типу. У роботах [2, 3, 4] розглянуті і запропоновані конструкції кріплення виїмок. У роботі [5, 6] проаналізовані методи будівництва тунелів. У роботах [8, 9, 10] розглянуті і дослідженні конструкції, що застосовуються у підземних спорудах, зокрема в спорудах тунельного типу.

### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою даної статті є аналіз і класифікація методів зведення підземних споруд тунельного типу відкритим способом будівництва.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Будівництво підземних споруд тунельного типу неглибокого закладання у сучасних умовах стикається з цілим комплексом геотехнічних, техніко-технологічних та економічних обмежень. Зростаюча щільність міської забудови, наявність підземних інженерних комунікацій, необхідність підтримання транспортного руху та обмеження щодо деформацій поверхневих споруд вимагають застосування технологій, які поєднують високу надійність, мінімальний вплив на оточення і технологічну ефективність.

У сучасних умовах зведення підземних споруд тунельного типу виконують закритим чи відкритим способом.

Закритий спосіб будівництва підземних споруд характеризується влаштуванням (проходкою) горизонтальних виїмок різних поперечних розмірів і протяжності для прокладки інженерних мереж і тунелів без порушення денної поверхні ґрунту, просторового положення і функціонування вже зведених будівель і споруд або їх частин. У зв'язку зі значною вартістю виконання робіт закритий спосіб застосовують при будівництві тунелів глибокого закладання, коли цього вимагають гідрогеологічні умови, або необхідно зберегти існуючу забудову, в інших випадках підземні споруди неглибокого закладання будують відкритим способом.

Відкритий спосіб будівництва підземних споруд тунельного типу передбачає зведення тунельної конструкції в межах відкритої виїмки з подальшим засипанням конструкції ґрунтовим матеріалом після завершення будівельних робіт. Його застосовують у випадках, коли профіль тунелю є мілкого закладання, а розкриття котловану з поверхні є технічно можливим, економічно доцільним та допустимим з точки зору містобудівних та екологічних умов. Відкритий спосіб широко використовують для спорудження транспортних шляхопроводів (підземних переходів), вхідних та вихідних ділянок тунелів гірничого способу проходки, а також тунелів у рівнинній місцевості або в умовах, де доцільно розміщувати споруду на незначній глибині. Цей спосіб будівництва зазвичай застосовують для зведення споруд із глибиною закладання 10 - 12 м, в окремих випадках вона може досягати до 30 м.

Для спорудження споруд тунельного типу відкритим способом застосовують наступні методи: котлований, траншейний і «зверху-

вниз» (top-down), які мають свої різновиди класифікацію яких наведено на рис. 1.

Котлований метод будівництва передбачає влаштування котловану чи траншеї, де в подальшому зводять тунельну конструкцію. Після закінчення будівельно-монтажних робіт

котлован або траншею засипають ґрунтом з відновленням дорожнього покриття та благоустрою.

На вартість зведення підземних споруд котлованим методом досить відчутно впливає метод забезпечення стійкості укосів котловану

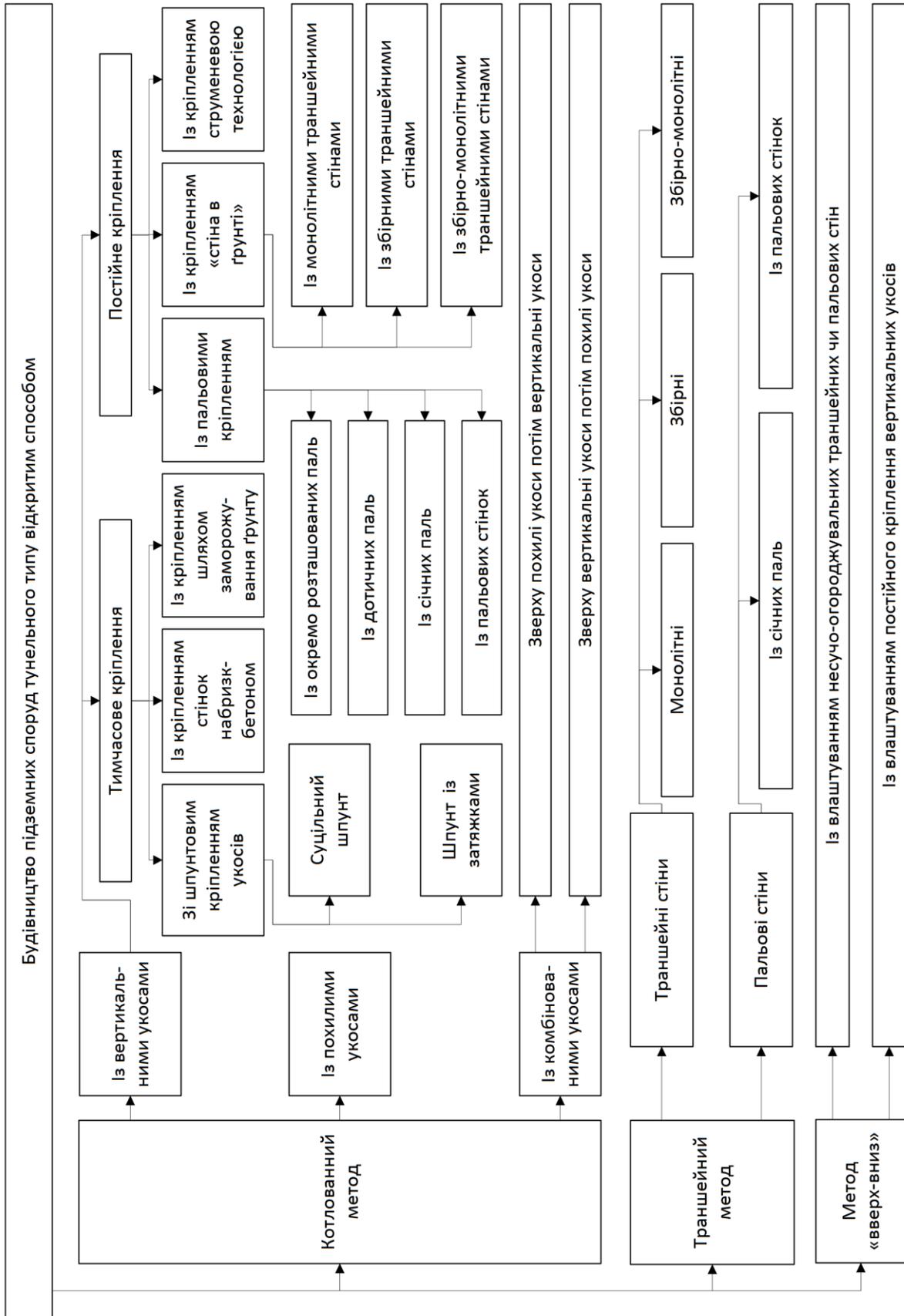


Рис. 1. Класифікація методів будівництва підземних споруд тунельного типу відкритим методом

чи траншеї. На сьогодні застосовують виїмки із похилими (природними) укосами, або із вертикальними укосами (стінами) чи комбінований метод забезпечення стійкості укосів. Виїмки із похилими (природними) укосами доцільно застосовувати на незабудованих ділянках за наявності достатньої території будівельного майданчику і стійких ґрунтів.

Котловани із вертикальними укосами зазвичай застосовують у випадках обмеженої площі будівельного майданчику при щільній міській забудові та за наявності слабких ґрунтів, коли відсутня можливість влаштувати природні укоси. У випадку неоднорідних ґрунтів, якщо дозволяє планування територій, можуть влаштуватися комбіновані укоси виїмок, що дозволяє зменшити матеріалоемність кріплення. У комбінованих укосах виїмок поєднують природні схили із вертикальним кріпленням за двома варіантами: зверху вертикальні стіни, а потім похилі укоси, або зверху похилі укоси, а потім вертикальні стіни.

Загалом котлований метод будівництва підземних споруд тунельного типу включає в себе наступні етапи будівництва:

- влаштування огорожувальних конструкцій котловану, при влаштуванні виїмки із вертикальними стінами;
- зниження рівня ґрунтових вод у межах виїмки за необхідності;
- розробка ґрунту виїмки із встановленням, за необхідності, елементів тимчасового кріплення стін виїмки;
- влаштування днища (плити основи) тунельної конструкції;
- зведення стін і перекриття (покрівлі) тунельної конструкції;
- влаштування гідроізоляційної системи тунелю;
- виконання зворотної засипки, відновлення благоустрою.

Перевагами котлованного методу будівництва є:

- можливість влаштування гідроізоляційних покриттів по зовнішній поверхні конструкції тунелю;

- можливість влаштування дренажних систем поза межами конструкції для відведення або перенаправлення ґрунтових та інших вод;
- зручний доступ до виїмки будівельною технікою, можливість зручного постачання, складування і укладання матеріалів.

До недоліків котлованного методу будівництва необхідно віднести:

- потреба у дещо більшій площі будівельного майданчику у порівнянні із іншими методами;
- неможливість остаточного відновлення денної поверхні ґрунту до завершення всіх будівельних робіт;
- необхідність у тимчасовому підвішуванні або перенесенні інженерних мереж;
- може вимагати водозниження рівня ґрунтових вод, яке здатне негативно впливати на навколишню забудову та інфраструктуру.

Вертикальні стіни виїмок при зведенні підземних споруд неглибокого закладання влаштовують тимчасовими чи постійними (рис. 1). До тимчасових відносять шпунтові кріплення та кріплення схилів набризк-бетоном чи шляхом заморожування ґрунту. До постійних вертикальних стін виїмок відносять пальового кріплення, стіни в ґрунті, кріплення, що виготовлені за струменевою технологією.

Вертикальні стіни виїмок із шпунтового кріплення може бути із суцільного шпунта чи шпунту із затяжками. Суцільне шпунтове огороження утворює замкнений контур із взаємозчеплених шпунтин, що забезпечує рівномірне сприйняття горизонтального тиску ґрунту і води по всьому периметру котловану тунелю. Огороження котлованів тунелів із сталевих шпунта з затяжками конструктивно складається зі сталевих шпунтових паль та із затяжок, що заповнюють проміжки між ними. Затяжки забезпечують утримання ґрунту між основними шпунтовими елементами та передають навантаження на систему об'язок і розпірок. У порівнянні з суцільним шпунтом така система має меншу жорсткість і герметичність, що обмежує її застосування в умовах високого рівня ґрунтових вод. Огороження котлованів тунелів із сталевих

шпунта з затяжками застосовують у відносно сухих або слабо водонасичених ґрунтах, за помірної глибини котловану та за відсутності значного гідростатичного тиску.

Кріплення стін виїмки набризк-бетоном полягає у нанесенні шару бетонної або цементно-піщаної суміші під тиском безпосередньо на оголену поверхню ґрунту після його розробки. Набризк-бетон утворює захисну оболонку, яка запобігає осипанню, вивітрюванню та локальним деформаціям ґрунту, а також забезпечує перерозподіл напружень у приповерхневому шарі стіни виїмки. Цей метод застосовують для тимчасового закріплення ґрунтового масиву під час розробки котлованів тунелів у ґрунтах із достатньою природною стійкістю. Метод доцільний за відносно невеликих глибин котловану, короткого терміну відкритого стояння ґрунту та за відсутності значного гідростатичного тиску. Кріплення стінок котловану набризк-бетоном не забезпечує водонепроникності стінок котловану, тому його застосування обмежується умовами з низьким рівнем ґрунтових вод або за наявності ефективних заходів водозниження.

Тимчасове кріплення стін виїмок шляхом заморожування ґрунту полягає у штучному зниженні температури ґрунту навколо системи заморожувальних колони, через які подається холодоносії, внаслідок формується мерзлий ґрунтовий масив. Метод заморожування ґрунту є технологічно складним та енергоємним, проте забезпечує високу надійність, універсальність і контрольованість деформацій, що зумовлює його застосування у відповідальних і складних умовах підземного будівництва або за наявності аварійних ситуацій.

Огородження виїмок при будівництві підземних споруд із застосуванням пальового кріплення використовують як постійне огороження. Воно може бути із окремо розташованих паль, дотичних паль, січних паль та пальових стінок.

Стіни виїмок, що сформовані з окремо розташованих паль, застосовують при спорудженні тунелів у ґрунтах із достатньою природною стійкістю та за відсутності підвищених вимог щодо водонепроникності огороження. Метод доцільний за відносно низького рівня ґрунтових вод або за умови улаштування системи водозниження.

Кріплення стін виїмок із дотичних паль формуються із ряду буронабивних паль, які

бічними поверхнями розташовані впритул одна до одної. Діаметр паль зазвичай становить 0,6...1,2 м. Дотичні палі застосовують у міських умовах, де необхідно обмежити деформації прилеглої забудови, а також у випадках середніх і значних глибин котлованів. Водонепроникність таких стінок є вищою, ніж у систем із окремих паль, однак не є абсолютною.

Кріплення стін виїмок із січних паль подібні до дотичних паль, за винятком того, що буронабивні палі не дотикаються одна до одної, а частково перекривають одна одну. Це відбувається тому, що відстань між центральними осями січних паль менша за їх діаметр. Січні палі влаштовують за тією ж послідовністю, що і дотичні палі, але влаштування суміжних січних паль потребує видалення частини раніше влаштованих паль, зокрема частини бетонного заповнення. Січні палі створюють більш жорстку стінову конструкцію, а ніж дотичні і на відміну від них більш ефективно перешкоджають проникненню ґрунтових вод у котлован.

Суцільні пальові стіни влаштовують у траншеях із перетинальних свердловин відрізняються від січних паль більш спрощеною технологією влаштування, коли вибурається ряд свердловин, які об'єднують єдиним арматурним каркасом та бетоном, що укладається одночасно по всім свердловинам в межах захватки. Після твердіння бетону формується жорстка вертикальна конструкція, здатна сприймати значні горизонтальні навантаження, що виникають під час розробки котловану. На відміну від січних паль пальові стіни краще перешкоджають проникненню ґрунтових вод у котлован за рахунок суцільної конструкції в межах захватки.

До постійного огороження виїмок відносять також конструкції, що влаштовані за технологією «стіна в ґрунті», суть якої полягає у зведенні вертикальної огорожувальної та несучої стіни із рівня поверхні ґрунту в попередньо викопаній траншеї під захистом глинистої суспензії. Стіни влаштовують традиційно монолітними, але в окремих випадках можуть бути збірними чи збірно-монолітними.

Влаштування постійного кріплення стін виїмок за струменевою технологією полягає у використанні цементного розчину, що під високим тиском вдавлюється у ґрунтову масу, руйнуючи структуру ґрунту і водночас

заміщаючи її фрагменти цементом, утворюючи ґрунтобетон, що має високі характеристики міцності і деформаційної стійкості, а також значні протифільтраційні властивості. Застосування струменевої технології дозволяє утворювати навколо виїмки кріплення із ґрунтобетонних паль у вигляді вертикальної стіни.

Тунелі, зведені відкритим способом, зазвичай, проєктують у вигляді жорсткої рамної коробчастої конструкції. В умовах міської забудови, через обмеженість будівельного простору, тунель споруджують в межах чітко обмеженої лінії виїмки з використанням розпірних або анкерних стін огороження котловану. За наявності достатнього будівельного простору і глибин закладання підземної споруди до 10 – 12 м, на відкритих територіях поза межами щільної міської забудови, економічно доцільнішим може бути застосування котлованного способу будівництва.

Жорсткі системи кріплення котловану характеризуються вищою несучою здатністю порівняно з гнучкими системами, що дає змогу ефективно сприймати значні ґрунтові та гідростатичні навантаження. Підвищена жорсткість таких систем дозволяє зменшити кількість розпірних елементів, унаслідок чого скорочуються перешкоди всередині котловану та створюються більш сприятливі умови для виконання будівельних робіт. Важливою перевагою є можливість інтеграції жорстких огорожувальних стін у постійну конструкцію тунелю, що дає змогу поєднати функції тимчасового кріплення котловану та несучих елементів споруди і, відповідно, знизити загальну вартість будівництва. Це є суттю траншейного методу будівництва підземних споруд тунельного типу, коли огорожувальні конструкції котловану стають стіновими конструкціями тунелю.

Траншейний метод будівництва підземних споруд тунельного типу включає в себе наступні етапи будівництва:

- влаштування вертикальних стін тунелю;
- розробка ґрунту між стінами тунелю із встановленням, за необхідності, елементів тимчасового кріплення стін;
- влаштування днища (плити основи) тунелю;
- влаштування перекриття (покрівлі) тунелю;
- влаштування гідроізоляційної системи тунелю;

- виконання зворотної засипки, відновлення благоустрою.

Перевагами траншейного методу будівництва є:

- економічна вигідність
- передбачуваність і контрольованість процесів
- гнучкість конструктивних рішень
- висока швидкість будівництва
- підвищена безпека та надійність

До недоліків траншейного методу будівництва необхідно віднести:

- ускладнене влаштування гідроізоляції постійних стін;
- необхідність ретельного і якісного влаштування вузлів з'єднання стінових конструкцій з іншими конструктивними елементами тунелю;
- підвищена трудомісткість влаштування перекриття (покрівлі) тунелю;
- необхідність врахування при проєктуванні послідовність виконання робіт та змінні навантаження на стінові конструкції, що виникають у процесі розробки котловану і поетапного встановлення конструктивних елементів.

У траншейному методі будівництва (рис. 1) вертикальні стіни зводять із рівня денної поверхні ґрунту. Траншейні стіни влаштовують за технологією стіна в ґрунті (монолітні, збірні і збірно-монолітні), або за технологією влаштування пальових стін (із буросічних паль чи суцільна пальова стіна).

Монолітні траншейні стіни є найбільш поширеним різновидом стіни в ґрунті. Така конструкція характеризується високою просторовою жорсткістю, водонепроникністю та здатністю сприймати значні згинальні й зсувні зусилля. Монолітні стінки доцільно застосовувати при значних глибинах котловану тунелю, високому рівні ґрунтових вод та в умовах щільної міської забудови, де необхідно мінімізувати деформації ґрунтового масиву.

Збірні стіни в ґрунті зводять шляхом установлення в траншею заводських залізобетонних конструкцій під захистом бентонітової суспензії. Такий тип стін дозволяє підвищити індустріалізацію будівництва та скоротити тривалість робіт, однак має обмежене застосування через складність забезпечення герметичності стиків, знижену адаптивність до складних геологічних умов, складністю транспортування та обмеженням розмірів збірних конструкцій транспортними

габаритами. Збірні стіни в ґрунті доцільні при середніх глибинах котловану та за відносно простих інженерно-геологічних умов.

Збірно-монолітні стіни в ґрунті поєднують переваги монолітних і збірних конструкцій. Така конструкція є ефективною для глибоких котлованів тунелів у складних гідрогеологічних умовах.

Стіни із буросічних паль та суцільні пальові стіни застосовують для влаштування огорожувальних конструкцій котлованів у складних інженерно-геологічних умовах та в умовах щільної міської забудови. Їх використання забезпечує підвищену стійкість стін котловану, зменшує деформації прилеглих ґрунтових масивів і мінімізує вплив на існуючі будівлі та інженерні мережі.

У випадках, коли траса тунелю проходить під міською вулицею, будівництво котлованним чи траншейним методом викликає перешкоди для руху транспорту та іншої міської діяльності. Такі порушення можуть бути зменшені шляхом влаштування тимчасових перекриттів над котлованом для відновлення руху транспорту, або шляхом зведення підземних споруд тунельного типу методом «зверху-вниз» (top-down).

Принцип методу «вверх-вниз» полягає в тому, що спочатку зводять стіни тунелю за технологією стіна в ґрунті чи за технологією влаштування буросічних паль або пальових стін. Далі зводять перекриття (покрівлю) тунелю, яке жорстко з'єднується з огорожувальними стінами. Після цього виконують зворотню засипку ґрунту і влаштовують порушене дорожнє покриття для відновлення дорожнього руху, що відбувається ще до повного завершення будівельних робіт.

– відсутня можливість влаштування зовнішньої гідроізоляції з боку ґрунту.

Варіацією методу «вверх - вниз» може бути зведення огорожі котловану, до якої кріплять верхнє перекриття підземної споруди та виконують зворотнє засипання ґрунту. В подальшому під захистом верхньої плити перекриття розробляють ґрунтове ядро і зводять фундаментну плиту, а потім влаштовують конструкцію тунелю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.2.1-32:2014. Настанова з проектування котлованів для влаштування

Подальша розробка ґрунту виконується під захистом верхньої плити перекриття тунелю. Після завершення розробки ґрунту влаштовується плита днища тунелю, яка жорстко з'єднується зі стінами. Завершальним етапом є виконання внутрішніх опоряджувальних робіт, зокрема влаштування вторинних стін та інших конструктивних елементів внутрішнього облаштування.

Перевагами методу будівництва «зверху-вниз» (top-down) є:

- Забезпечується раннє відновлення поверхні над тунелем
- Тимчасові огорожувальні стіни використовуються як постійні несучі конструкції
- Плити перекриття виконують функцію внутрішніх розпірок, що зменшує потребу в анкерах
- Потрібна менша ширина будівельної зони
- Полегшується зведення покрівлі, оскільки бетонування можливе по підготовленій основі без нижньої опалубки

До недоліків методу будівництва «зверху-вниз» (top-down) необхідно віднести:

- обмежений доступом до зони виїмки ґрунту, який, як правило, здійснюється через бічні портали або через технологічні отвори в перекритті тунелю;
- обмежений робочий простір, що ускладнює виконання земляних робіт і влаштування плити днища і впливає на організацію будівельного процесу та його тривалість
- ризик протікань води у стиках між плитами та стінами

### ВИСНОВКИ

У результаті проведеного аналізу встановлено, що основний напрям підвищення ефективності тунельного будівництва полягає у застосуванні огорожувальних конструкцій, які здатні одночасно виконувати функції тимчасового кріплення та постійних несучих елементів споруди. Такі конструкції зводять методом «стіна в ґрунті», методом буросічних паль чи суцільної пальової стіни.

фундаментів і заглиблених споруд. Київ: Мінрегіон України, 2015. 15-19 с.

2. Самородов О. В., Єсакова С. В., Бондар О. П., Кротов О. В. Удосконалена конструкція

- комбінованої підпірної стіни котловану у водонасичених ґрунтах. «Science & Construction» «Наука та будівництво». 2025. № 2(44). DOI: 10.33644/2313-6679-2-2025-3.
3. **Скриннік І. О., Федотова М. О., Дарієнко В. В., Яцун В. В.** Застосування палевого кріплення ґрунтів при виконанні технології земляних робіт в незв'язних та сипучих ґрунтах. «Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences». 2025. Issue 11(42), Part II.
4. **ГБН В.2.3-37641918-560:2019** Автодорожні мости. Спеціальні допоміжні споруди. Проектування. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2009. С. 62–64.
5. «**ITA/AITES Training Course. Tunnel Engineering. Cut and Cover Tunnels in Metropolitan Areas**». Ahmet Saglamer. Istanbul, 2005.
6. **Меленчук В. О., Вапнічна В. В.** «Розгляд способів будівництва підземних споруд».
7. «**Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements**». U.S. Department of Transportation.

### MODERN METHODS OF CONSTRUCTING CUT-AND-COVER TUNNEL-TYPE UNDERGROUND STRUCTURES

**Oleksandr MAKHYNIA  
Nazar YAREMKO**

The article presents a classification and analysis of modern methods for constructing tunnel-type underground structures using the cut-and-cover approach.

Currently, tunnel-type underground structures are constructed either by open-cut or closed (underground) methods, which differ by whether the works require excavation from the ground surface or are performed without disturbing it. The cut-and-cover method involves constructing the tunnel structure within an open excavation, followed by backfilling the structure with soil after the completion of construction works. This method is applied when the tunnel alignment is shallow and when excavation from the surface is technically feasible, economically justified, and acceptable in terms of urban planning and environmental constraints. The cut-and-cover method is widely used for constructing transportation underpasses, entrance and exit sections of mined tunnels, as well as tunnels in flat terrain or in conditions where placing the structure at a shallow depth is appropriate.

The main methods used for constructing tunnel-type structures by the cut-and-cover

Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-NHI-10-034. December 2009. С. 5-1 – 5-24.

8. **Махня О.М., Галенко Є.О.** Палі-колони при зведенні будівель методом «вверх-вниз» (top-down). *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 51. С. 259-270. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51\(1\).259-270](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51(1).259-270)
9. **Hussein A. K., Mahmood M. R., Aswad M. F.** The behavior of secant pile wall embedded within soil by numerical analysis. «Engineering and Technology Journal». С. 297–307.
10. **Liu Y., Huang L., Tang X., Xue Y., Ke W., Luo Y., Guan L.** Analysis of influence of cut-and-cover method on retaining structures and differential settlement in subway foundation pit construction. «Applied Sciences». 2025. Vol. 15, No. 13. DOI: 10.3390/app15137520.

approach include the open-pit (excavation) method, the trench method, and the top-down method.

In the open-pit method, excavations may be formed with sloped (natural) sides, vertical walls, or combined configurations. The method used to ensure the stability of excavation slopes or trench walls significantly affects the overall cost of tunnel construction. Vertical excavation walls may be temporary or permanent. Temporary systems include sheet-pile walls and slope stabilization using shotcrete or ground freezing. Permanent vertical walls include pile retaining systems, diaphragm walls, and jet-grouted retaining structures.

The trench method is characterized by the fact that the retaining structures of the excavation become the permanent structural walls of the tunnel. This approach enables the creation of a rigid system with higher load-bearing capacity compared to flexible systems, allowing efficient resistance to significant soil and hydrostatic pressures. An important advantage is the possibility of integrating rigid retaining walls into the permanent tunnel structure, combining the functions of temporary excavation support and permanent load-bearing elements, thereby reducing overall construction costs.

When the tunnel alignment interferes with existing traffic, the top-down method may be

applied. In this method, the tunnel walls are constructed first, followed by the installation of the tunnel roof slab, which is rigidly connected to the retaining walls. Afterward, the excavation is backfilled, and the disturbed roadway is restored. The remaining tunnel elements are constructed beneath the protection of the roof slab.

Based on the analysis, it is established that the primary direction for improving the efficiency

of tunnel construction lies in the use of retaining structures capable of simultaneously performing the functions of temporary excavation support and permanent load-bearing elements. Such structures include diaphragm walls, secant pile walls, and contiguous pile walls.

**Keywords:** underground structure, tunnel, construction methods, excavation pit, pile, secant piles, pile wall, diaphragm wall, top-down method.

### References.

1. **DSTU N B V.2.1 32:2014.** Guidelines for the Design of Excavation Pits for the Construction of Foundations and Underground Structures. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2015. pp. 15–19.
2. **Samorodov O. V., Yesakova S. V., Bondar O. P., Krotov O. V.** Improved design of a combined retaining wall of an excavation pit in water-saturated soils. *«Science & Construction»* *«Nauka ta Budivnytstvo»*. 2025. No. 2(44). DOI: 10.33644/2313-6679-2-2025-3.
3. **Skrynnik I. O., Fedotova M. O., Dariienko V. V., Yatsun V. V.** Application of pile-type soil support during earthworks in non-cohesive and loose soils. *«Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences»*. 2025. Issue 11(42), Part II.
4. **ГБН B.2.3-37641918-560:2019.** *«Highway Bridges. Special Auxiliary Structures. Design»*. Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2009. pp. 62–64.
5. **«ITA/AITES Training Course. Tunnel Engineering. Cut and Cover Tunnels in Metropolitan Areas»**. Prepared by Ahmet Saglamer. Istanbul, 2005.
6. **Melenchuk V. O., Vapnichna V. V.** *«Review of methods for constructing underground structures»*.
7. **«Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements»**. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-NHI-10-034. December 2009. pp. 5-1 – 5-24.
8. **Makhynia, O., & Halenko, Y.** (2023). The use of pile columns during the building construction by the top-down method. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 51, 259-270. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51\(1\).259-270](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51(1).259-270)
9. **Hussein A. K., Mahmood M. R., Aswad M. F.** The behavior of secant pile wall embedded within soil by numerical analysis. *«Engineering and Technology Journal»*. pp. 297–307.
10. **Liu Y., Huang L., Tang X., Xue Y., Ke W., Luo Y., Guan L.** Analysis of influence of cut-and-cover method on retaining structures and differential settlement in subway foundation pit construction. *«Applied Sciences»*. 2025. Vol. 15, No. 13. DOI: 10.3390/app15137520.