

**О.М. Махня,**

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-7167-2857

**Є. О. Галенко,**

аспірант

ORCID: 0000-0001-9306-658X

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

## **ПАЛІ-КОЛОНИ ПРИ ЗВЕДЕННІ БУДІВЕЛЬ МЕТОДОМ «ВВЕРХ-ВНИЗ» (TOP-DOWN)**

У статті розглянуто аналіз публікацій, щодо використання різних видів паль-колон під час будівництва методом «вверх-вниз» (top-down). На сьогодні під час будівництва за технологією «вверх-вниз» можуть бути використанні наступні види паль: буронабивні палі, буронабивні палі з розширенням стовбуру (bell pile), баретти (barrette), комбіновані палі зі сталевим осереддям (king post). Було розглянуто і проаналізовано низку будівельних об'єктів, що були зведені методом «вверх-вниз», а також конструктивні характеристики паль-колон, які були застосовані під час їх будівництва. Встановлено, що палі-колоні розраховують на прийняття навантажень в широкому діапазоні від 1,5 до 44,5 МН, в середньому розрахункове навантаження становить від 10...14 МН. Довжина паль коливається від 16 до 67 м, в середньому – 30...35 м і вони розміщувалися з кроком від 1,8 до 4,3 м, в середньому – 3 м. Виявлено зростаючу тенденцію використання комбінованих паль з металевим осереддям (king post). Основною перевагою яких є можливість одразу приймати значні навантаження від наземної частини будівлі в процесі одночасного зведення підземної частини та дотримання необхідних показників міцності і стійкості колони. Влаштування комбінованих паль зі металевим осереддям (king post) передбачає два етапи. На першому – влаштовують свердловину, з подальшим встановленням до неї арматурного каркасу, укладають бетонну суміш до нижньої монолітної частини палі, в яку монтують сталеве осереддя верхньої частини і обсипають його ґравієм у свердловині. На другому етапі в процесі зведення підземних поверхів виконують обетонування металевого осереддя. При цьому встановлено, що монтаж і обетонування металевого осереддя є технологічно складним і дорогим процесом, що потребує більш детального дослідження щодо можливості удосконалення конструктивно-технологічних рішень і зменшення собівартості виконання робіт.

**Ключові слова:** метод «вверх-вниз» (top-down), буронабивна паля, паля з розширенням стовбуру, баретта, комбінована паля з металевим осереддям (king post).

**Постановка проблеми.** Збільшення ступеню урбанізації сучасних міст вимагає інтенсивного освоєння доступного простору. Тому з кожним роком у світі збільшуються обсяги підземного будівництва у великих містах. Підземні будівельні роботи поступово стають все більш складнішими і масштабними з точки зору глибини виїмки ґрунту, обсягів і площі підземних приміщень. З іншого

боку підвищення урбанізації міст збільшує стислість умов будівництва і ускладнює розміщення будівельної техніки, технічних засобів і саме виконання будівельних процесів. Враховуючи те, що частка підземних робіт у загальній вартості будівництва сягає приблизно від 20 до 40%, виникає нагальна потреба у застосуванні інноваційних будівельних технологій, які можуть дозволити ефективно освоювати значні обсяги підземного простору у стислих умовах міської забудови.

Однією з таких будівельних технологій є зведення будинків методом "вверх-вниз" (top-down). Особливістю методу є можливість одночасного зведення як нижньої (підземної), так і верхньої (наземної) частини будинку. Тобто, передбачається із рівня поверхні землі спочатку влаштувати огорожувальну конструкцію (стіну) підземного простору будинку, що виконує, одночасно, функцію кріплення стін котловану. Вертикальні елементи каркасу (палі-колони) підземного простору влаштовують у вигляді паль, які по мірі розробки ґрунту з'єднують, як між собою так із зовнішньою стіною за допомогою монолітного перекриття, яке забезпечує просторову жорсткість будівлі. Роботи розпочинають із верхнього перекриття підземної частини будинку, за схемою «зверху-вниз». При цьому в перекриттях передбачаються технологічні отвори для доступу будівельної техніки і виконавців для розробки ґрунту і влаштування ядра жорсткості. Одночасно зі зведенням підземної частини здійснюється зведення монолітного каркасу наземної частини будинку за традиційною технологією, за схемою «знизу-вверх».

До переваг зведення будинків методом "вверх-вниз" (top-down) необхідно віднести:

- можливість виконувати роботи у стислих умовах міста за рахунок влаштування підземної виїмки в межах огорожувальних конструкцій підземної частини будівлі;
- прискорення термінів будівництва за рахунок суміщення у часі процесу зведення підземної та наземної частин будівлі;
- забезпечення більшої стійкості огорожувальних конструкцій підземної виїмки за рахунок влаштування розпірного перекриття на кожному поверсі перед розробкою ґрунту;
- зменшення витрат на влаштування тимчасових елементів кріплення стінок підземної виїмки внаслідок влаштування постійних перекриттів підземних поверхів;

До недоліків зведення будинків методом "вверх-вниз" (top-down) необхідно віднести:

- технічно ускладнене транспортування викопаного ґрунту із підземної виїмки до місця його складування;
- технічно ускладнене транспортування матеріалів до робочого місця, при виконанні робіт у підземній частині;
- необхідність застосування малогабаритної техніки, при розробці і переміщенні ґрунту;
- потреба у забезпеченні достатньої міцності і стійкості несучих конструкцій каркасу підземної частини будівлі до їх повного виготовлення, у зв'язку із необхідністю сприймати навантаження від конструкцій наземної частини будівлі, що зводиться паралельно у часі;

Палі-колони є одним з основних конструктивних елементів під час будівництва методом «вверх-вниз». Саме тому правильний вибір доцільної технології їх влаштування має значний вплив на готовий будівельний продукт.

**Аналіз попередніх наукових досліджень.** У роботах [1, 3-5] було виконано порівняння зведення будівель методом «вверх-вниз» (top-down) із класичним зведенням «знизу-вверх» у відкритому котловані (bottom-up). У роботах [1, 6, 8, 16-23] розглянуті результати зведення реальних будівель методом «вверх-вниз», при цьому ряд робіт [12, 13] присвячені застосуванню цього методу при зведенні станцій метро. У роботах [1-3, 7, 8] розглянуті методи та прилади для контролю роботи паль-колон і їх деформацій в процесі експлуатації. У роботах [6, 8, 10-12] надані пропозиції щодо більш ширшого застосування методу «вверх-вниз» у будівництві. У роботах [8, 9] розглянуто особливості і можливості застосування комбіновані палі зі сталевим осереддям типу king post.

**Мета роботи.** Розглянути та проаналізувати сучасні варіанти конструктивно-технологічних рішень влаштування паль-колон при зведенні будинків і споруд методом «вверх-вниз».

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз науково-технічної літератури [1-23] виявив, що при зведенні будинків і споруд методом «вверх-вниз» застосовують палі-колони наступних видів: буронабивні палі, буронабивні палі з розширенням стовбуру (bell pile), баретти (barrette), комбіновані палі зі сталевим осереддям (king post).

Традиційно, при зведенні будівель методом «вверх-вниз» застосовують буронабивні палі. Їх можна влаштовувати великим діаметром (до 2 м) і глибиною до 80 м. Буронабивні палі влаштовують в обсадній трубі чи під захистом прохідницького розчину. Обсадну трубу в ґрунт вдавлюють гідравлічним домкратом з одночасною його розробкою в ній. Для чого використовують шнеки, бурові чи грейферні ківші, колонкові бури або желонки. Після досягнення проектної глибини буровий інструмент виймають, забій очищують від шламу установлюють та фіксують арматурний каркас. Бетонування виконують методом вертикально переміщеної труби з поступовим вийманням обсадної труби. До переваг буронабивних паль в обсадних трубах необхідно віднести можливість влаштування паль при наявності щільних включень; високу щільність і однорідність стовбура палі; виготовлення палі великої несучої здатності без динамічних та вібраційних впливів на навколишню забудову. До недоліків необхідно віднести: можливі ускладнення виймання обсадної труби у в'язких ґрунтах, кругла форма перерізу палі, що відповідає мінімальній площі бічної поверхні і, відповідно, мінімілізує передавання навантаження від будівлі на навколишній ґрунт за рахунок сил тертя. Так, буронабивні палі довжиною до 60 м і діаметром 1,2 м були використані при будівництві 56-поверхового хмарочосу Main Tower [21], введення в експлуатацію якого було виконано у 1999 році. Фундамент хмарочосу складається з 74 буронабивних паль діаметром 1,5 м, що були влаштовані з кроком 3,5 м на глибину до 60 м. Палі були розраховані на сприйняття навантаження від 10 до 12 МН, а загальна несуча здатність пального поля сягала близько 800 МН. Клас бетону паль становив від C50/60 до C60/75. Цікавим фактом є те, що фундамент головної вежі оснащений додатковою системою моніторингу, що дозволяє відстежувати деформації будівлі.

Буронобавні палі, також, були використані при зведенні 7 поверхового підземного паркінгу Post Office Square Garage в США [20]. В даному випадку пальовий фундамент налічував 101 палю із загальною довжиною до 42,6 метрів і діаметром від 0,45 м до 0,91 м. Палі були розраховані на сприйняття навантаження до 4,79 КПа.

Буроабивні палі мають круглу форму перерізу, що відповідає найменшій площі бічної поверхні у порівнянні із іншими формами перерізу паль, а тому такі палі значно гірше передають навантаження на навколишній ґрунт за рахунок сил тертя і більш ефективно їх застосовувати як палі-стояки, а ніж як висячі палі. Враховуючи це, при зведенні будівель методом «вверх-вниз» набули розповсюдження буронабивні палі, що працюють як палі-стояки. Для збільшення їх ефективності застосовують додаткове розширення стовбуру в нижній частині (bell pile). Така конструкція дозволяє збільшити площу опорної частини і сприймати вище навантаження при її обпиранні на більш щільні ґрунти. Крім того така форма палі дозволяє чинити більший опір на висмикування. На відміну від звичайної буронабивної палі, у такій палі після буріння забій свердловини розширюють до діаметра 1500 мм механічними розширювачем, який занурюють у свердловину, заповнену прохідницьким розчином. Наступне влаштування палі аналогічне до технології влаштування буронабивної палі.

Серед прикладів застосування буронабивних паль із розширенням стовбуру в нижній частині можна відзначити станцію метро Dadongmen (Китай) [12]. Станція розташована в густонаселеному районі з м'яким ґрунтом, що вимагало використання системи глибокого фундаменту. Під час будівництва було влаштовано 306 паль довжиною до 30 м і діаметром 0,85 м в межах стовбура та 1,2 м в межах розширення основи. Палі були розміщені з кроком 1,8...2,7 м і розраховані на сприйняття навантаження до 10 МН, при цьому був застосований бетон класу C35/45. Такі палі були застосовані, також при будівництві Abeno harukas [23] - найвищої будівлі в Японії, висота якої сягає до 300 метрів, а глибина підземних поверхів - до 30,5 м. Загальна довжина влаштованого пальового поля досягала 40м. Діаметр основних буронабивних паль складав 2,5 м в частині стовбура і 4,2 м в розширеній частині основи. Палі були розраховані на сприйняття навантаження до 79,6 МН. При будівництві 78-поверхового хмарочосу Central Plaza у Гонконзі [16] було влаштовано 288 буронабивних паль, довжиною до 35 м і діаметром розширеної частини стовбуру основи до 2,0 м. Палі були розміщені з кроком 3,4...4,3 м та розраховані на сприйняття навантаження до 14 МН. В палях був застосований бетон класу C45/55.

Комплект обладнання для влаштування буронабивних паль відмінний від комплекту обладнання, що застосовують при зведенні зовнішніх і огорожуючих стінових конструкцій підземної частини, а саме «стіни в ґрунті». Це в свою чергу вимагає збільшення необхідного місця для розташування обладнання і збільшення витрат на його обслуговування. Це можна змінити шляхом застосування баретт (barrette), монолітних залізобетонних паль, що влаштовують за технологією «стіна в ґрунті». Тобто, спочатку під захистом бентонітової чи полімерної суспензії влаштовують глибоку і вузьку виїмку (траншею), у яку встановлюють арматурний каркас та укладають бетонну суміш, що поступово витісняє із траншеї суспензію заповнюючи її конструктивним бетоном. Для забезпечення необхідної якості

залізобетонної конструкції баретти необхідно використовувати бентонітову суспензію із оптимальною густиною, що досягається відповідним змішуванням матеріалів [14, 15]. Після досягнення бетоном необхідної міцності, видаляють його забруднену частину і влаштовують ростверок. Баретти краще сприймають значні вертикальні, горизонтальні і моментні навантаження ніж великорозмірні палі круглого перерізу аналогічної площі. Це є наслідком більшої питомої бічної поверхні бареттної палі, а ніж у палі круглого перерізу (1,2...1,5 рази) та більшого моменту інерції у напрямку моменту. За формою перерізу баретти можуть бути прямокутні, хрестоподібні, С-подібні, L-подібні, Y-подібні та таврового перерізу. Але на сьогодні конструктивні розрахунки таких палей не досконалі, що потребує більш глибокого дослідження і накопичення більшого обсягу натурних експериментальних даних [18]. Баретти прямокутного перерізу 2,8x0,8 м і проектною довжиною 33 м, в кількості 64 шт. були застосовані при будівництві «Mіgах Plaza» у місті Києві [18]. При цьому розрахункові навантаження на окрему баретту були прийняті в діапазоні від 22,1 МН до 44,5 МН, при цьому розрахункові навантаження на крайкові баретти становили від 41,2 МН до 44,5 МН.

Особливістю методу «вверх-вниз» є суміщення у часі процесу зведення підземної і наземної частин будівлі, а це в свою чергу вимагає конструктивної міцності палей-колон на сприйняття навантажень від наземних конструкцій, що зводяться. За таких умов технологічні перерви на набирання необхідних фізико-механічних властивостей бетоном монолітних палей-колон повинні бути мінімальні. Це можна досягнути шляхом застосування комбінованих палей, а саме палей із металевим осереддям (king post). Вони складаються із двох частин: нижня частина – паля, яка залишається в ґрунті основи, за конструкцією відповідає буронабивній палі, а верхня частина – металеве осереддя, яку виготовляють у вигляді двотавру зі сталі, що жорстко з'єднується з нижньою частиною, а потім обетонують. Влаштовують палі-колони king post у два етапи. На першому етапі вибурюють свердловину на проектну глибину. В якій монтують арматурний каркас для нижньої частини палі та укладають бетонну суміш на висоту палі, що відповідає нижній її частині (рис. 1, а). Після чого встановлюють раму для тимчасового закріплення металевого осереддя. Далі металеве осереддя опускають у свердловину, яку занурюють у свіжеукладену бетонну суміш на глибину не менше ніж 2 м та фіксують у проектному положенні на змонтованій рамі (рис. 1, б). Для усунення можливого пошкодження металевого осереддя в процесі розробки ґрунту, при влаштуванні виїмки для підземних поверхів, осереддя обсипають гравієм у свердловині (рис. 1, с).

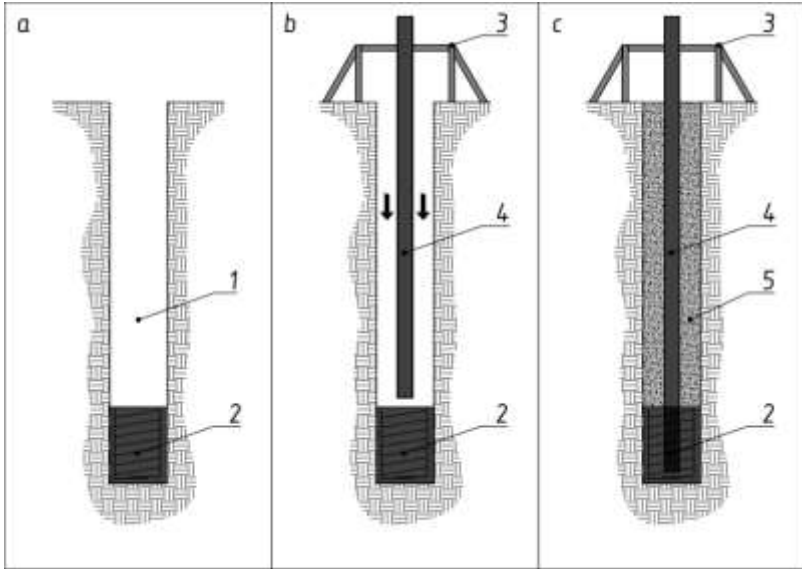


Рис. 1. Перший етап влаштування комбінованих паль із металевим осереддям типу (king post):

*a* – влаштування свердловини і монолітної частини палі; *b* – монтаж металевого осереддя; *c* – влаштування гравісової обсіпки; 1 – свердловина; 2 – монолітна частина палі із арматурним каркасом; 3 – рама для тимчасового закріплення колони; 4 – металеве осереддя палі; 5 – тимчасова гравісова обсіпка

На другому етапі після поярусної розробки ґрунту і влаштування перекриттів та фундаментної плити виконують обетонування палі з метою підвищення її корозійної і пожежної стійкості (рис. 2). Бетонування виконують окремими ярусами, кожен з яких відповідає частині палі-колони в межах одного поверху. Роботи розпочинають із найнижче розташованого поверху в напрямку знизу до гори.

Процес обетонування розпочинається із влаштування арматурного каркасу, елементи якого з'єднують з арматурними випусками вище і нижче розташованих плит (рис. 2, d). Далі встановлюють опалубку із зазором у верхній частині для подавання бетонної суміші. Потім укладають і ущільнюють бетонну суміш до основної частини ярусу палі-колони. Після витримування бетону, опалубку основної частини демонтують і встановлюють герметичну частину опалубки у верхній частині ярусу, куди нагнітають під тиском додаткову частину бетонної суміші з метою забезпечення монолітності і однорідності конструкції та включення її в роботу (рис. 2, e). Після обетонування колони на нижньому ярусі переходять на наступний верхній ярус (рис. 2, f).

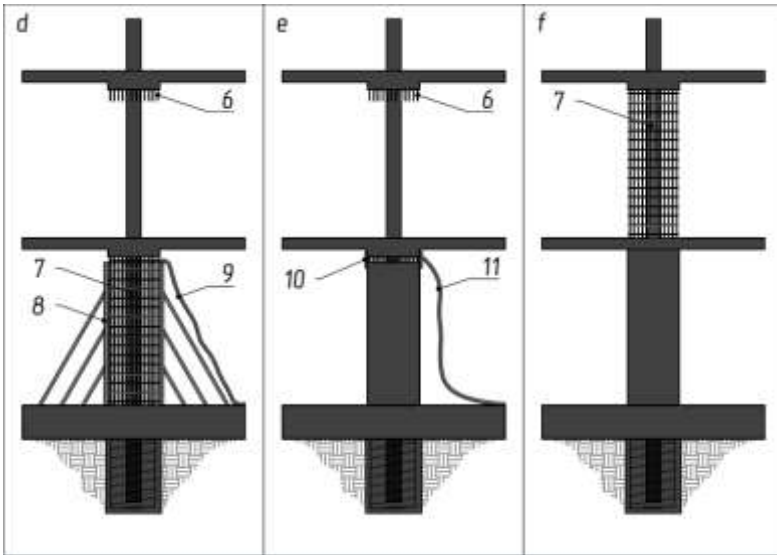


Рис. 2. Другий етап влаштування комбінованих паль із металевим осереддям типу (king post):

*d* – бетонування основної частини; *e* – нагнітання бетонної суміші до примикання; *f* – монтаж каркасу на наступному ярусі;

6 – арматурні випуски; 7 – арматурний каркас. 8 – опалубка; 9 – бетоновід, що встановлений для основної частини; 10 – опалубка примикання; 11 – бетоновід, що встановлений для примикання

Загалом процес обетонування є технологічно досить складним і трудомістким, на що впливає необхідність значної кількості армування, використання бетононасосів для подачі розчину під тиском у стислих умовах та спеціальної герметичні опалубки на останньому етапі обетонування.

До переваг палі-колони типу king post необхідно віднести: можливість сприймати відразу значні навантаження від наземної частини будівлі в процесі зведення підземної її частини та гарантовані показники міцності і стійкості колони. До недоліків необхідно віднести їхню велику вартість, за рахунок значних витрат металу і складності обетонування; необхідність переміщення цільного великогабаритного осереддя палі-колони в умовах стиснутої забудови, при значній глибині фундаментів і складність обетонування осереддя.

Палі-колони типу king post використовувались при будівництві громадсько-житлового комплексу Vinhomes Metropolis (В'єтнам) [8]. Під час зведення комплексу було застосовано близько 1100 палі-колон. Їхня довжина коливалась від 52 до 67 м, а діаметр пальнової основи складав приблизно 2,0 м. Палі-колони були розміщені з кроком 2,0...3,0 м і були розраховані на сприйняття навантаження до 1,5 МН. В палях був застосований бетон класу C50/60.

При будівництві підземної трансформаторної підстанції Hongyang (Шанхаї, Китай) [22], загалом було влаштовано 152 палі-колони типу king post довжиною до 56,1 метра. Діаметр пальової основи складав 1,0 м, а металевого осереддя - 0,55м. Палі були розраховані на сприйняття навантаження до 8,0 МН. Для пальової частини був використаний бетон класу C35/45, а для бетонування металевого осереддя - C60/75. Варто зазначити, що в якості металевого осереддя в даному проекті використовувалась металева обсадна труба, яка бетонувалась із середини під час монтажу.

При зведенні громадсько-житлового комплексу St Quentin's Apartments (Австралія) [17], було використано 350 палі-колон довжиною 16 м та діаметром 0,5 м. Палі були розміщені з кроком 3,0 м і були розраховані на сприйняття навантаження до 1,7 МН, в них був використаний бетон класу C28/35. У порівнянні із іншими розглянутими об'єктами даний комплекс має не великі розміри і лише 2 підземних рівні, але він будувався у стислих умовах і для видалення ґрунту та подачі будівельних матеріалів був запроєктований вертикальний отвір у несформованій «стіні в ґрунті», на відміну від горизонтального отвору у перекритті, що є традиційним для методу «вверх-вниз».

**Висновки.** На основі аналізу публікацій встановлено, що сьогодні у світовій практиці, при зведенні будинків методом «вверх-вниз», застосовують палі-колони наступних видів: буронабивні палі, буронабивні палі з розширенням стовбуру (bell pile), баретти (barrette), комбіновані палі зі сталевим осереддям (king post). Їх розраховують на сприйняття навантажень в широкому діапазоні від 1,5 до 44,5 МН, в середньому розрахункове навантаження становить від 10...14 МН. Довжина палі коливається від 16 до 67 м, в середньому – 30...35 м і вони розміщувалися з кроком від 1,8 до 4,3 м, в середньому – 3 м.

В останні роки широкої популярності набула технологія влаштування комбінованих палі-колон з металевим осереддям (king post), що дозволяє сприймати відразу значні навантаження від наземної частини будівлі в процесі одночасного зведення підземної її частини та гарантувати показники міцності і стійкості колони. Проте монтаж і обетонування металевого осереддя є технологічно складним і дорогим процесом, що потребує більш детального дослідження щодо можливості удосконалення конструктивно-технологічних рішень і зменшення собівартості виконання робіт.

#### **Список літератури:**

1. Wang J.H., Xu Z.H., Di G.E., Wang W.D. Performance of a deep excavation constructed using the united method: bottom-up method in the main building part and top-down method in the annex building part. *Underground Construction and Ground Movement*, 2012, 385-392. DOI:10.1061/40867(199)48
2. Xu Ri-qing, Zhu Yi-hong, Ding Pan. Performance of a Large-Scale Excavation by Bottom-Up Technique in Hangzhou Soft Clay. *Advances in Civil Engineering*, 2021, Vol. 2021, Article ID 6061849. <https://doi.org/10.1155/2021/6061849>
3. Law K.H., Siti Z.O., Roslan H., Zubaidah I. Determination of soil stiffness parameters at a deep excavation construction site in Kenny Hill Formation, *Measurement*, 2014, Vol. 47, 645-650. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.09.030>.
4. Guang Xiu Fang, Zheng Chao Jin. A Study of the Planning Methods in the Underground Work of Top-Down Construction in High-Rise Buildings. *Advanced*



*Materials Research*, 2014, Vol. 1044-1045, 561-565.  
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.561

5. John Endicott. Digging deeper and smarter. URL: <https://aecom.com/without-limits/article/digging-deeper-smarter/#:~:text=Top%2Ddown%20construction%20uses%20the,new%20metro%20lines%20under%20roads>.

6. Zargar Hossein & Mirmohamadi S. Mostafa. Top-down construction method: a case study of commercial building in Tehran. URL: [https://www.researchgate.net/publication/330313785\\_Top-Down\\_Construction\\_Method\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Commercial\\_Building\\_in\\_Tehran](https://www.researchgate.net/publication/330313785_Top-Down_Construction_Method_A_Case_Study_of_Commercial_Building_in_Tehran)

7. Dohyun K., Sangseom J., Gyungja J., Jongjeon P. Load-sharing ratio of prebored and precast pile in top-down method construction process. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2018, 27(10):e1472. DOI:10.1002/tal.1472

8. Constantinos Emmanouil Migiakis. Top-down construction method. Vinhomes metropolis. URL: [http://labmetalstructures.civil.ntua.gr/cms/images/lectures/Top\\_down\\_construction\\_method.pdf](http://labmetalstructures.civil.ntua.gr/cms/images/lectures/Top_down_construction_method.pdf)

9. Quentin Suckling. What is top-down construction and what are its benefits. URL: <https://sheerforceeng.com/what-is-top-down-construction/>

10. Tuan B.Q., Tam Ng.M. Semi top-down method combined with earth-bank, an effective method for basement construction. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2018, 143, 012047. DOI 10.1088/1755-1315/143/1/012047

11. What is top-down construction method? URL: <https://en.istasazeh-co.com/what-is-top-down-construction-method/>

12. Huang Mei Qun, Ding De Yun, Yang Xiu Ren, Wang Chen. A new subway station construction method: top-down boring with cast-in-situ arch. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, Vol. 501-504, 1706-1710. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.1706

13. Thomson line construction. URL: <https://thomson-line.blogspot.com/2014/05/construction-methodologies.html>

14. Махиня О.М., Терновий В.І. Застосування гідравлічного імпульсного змішувача для приготування прохідницьких глинистих розчинів в способі “стіна в ґрунті”. *Нові технології в будівництві*. 2005. №1(9). С. 62-65

15. Махиня О.М., Акімов Ф.Н. Методика дослідження оцінки впливу застосування різних розчинозмішувачів на техніко-економічні показники копання траншеї способом “стіна в ґрунті”. *Строительство и техногенная безопасность*. 2007. Вып. 21. сС. 87-92.

16. Nidhi Setya, Prachi Patwardhan, Priyanka Dherange. Wanchai, Hong Kong. URL: <http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects-631/Files/CENTRALplaza.pdf>

17. Airey Taylor Consulting. Top Down Construction. URL: <https://atconsulting.com.au/top-down-construction>

18. Щоденник будівництва Mirax Plaza (Київ). URL: <https://mirax-plaza-ua.livejournal.com/>

19. Young A., Annereau N., Butler A., Smith B. Case Study The Leadenhall Building, London. URL <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/19-case-study-the-leadenhall-building-london.pdf>

20. Whittle A.J., Hashash Y.M.A., Whitman R.V. Analysis of deep excavation in boston. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1993, 119(1), 69-90. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1993\)119:1\(69\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1993)119:1(69))

21. Kheir Al-Kodmany. Green towers and iconic design: Cases from three continents. *International Journal of Architectural Research Archnet-IJAR*, 2014, 8(1): 11-28. DOI:10.26687/ARCHNET-IJAR.V8I1.336

22. Qiping W., Zhonghua Xu, Zhihou Wu, Ruobiao Liu. Design and Performance of the Deep Excavation of a Substation Constructed by top-down Method in Shanghai Soft Soils. *Procedia Engineering*, 2016, Vol. 165, 682-694. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.766>

23. Kiyooki H., Junji H., Kiyoshi Y. Settlement behavior of piled raft foundation supporting a 300 m tall building in Japan constructed by top-down method. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2016, 2(2): 166-169. DOI:10.3208/jgssp.ESD-21

### References:

1. Wang, J.H., Xu, Z.H., Di, G.E., & Wang, W.D. (2012). Performance of a deep excavation constructed using the united method: bottom-up method in the main building part and top-down method in the annex building part. *Underground Construction and Ground Movement*, 385-392. DOI:10.1061/40867(199)48 {in English}

2. Xu, Ri-qing, Zhu, Yi-hong, Ding, Pan. (2021). Performance of a Large-Scale Excavation by Bottom-Up Technique in Hangzhou Soft Clay. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2021, Article ID 6061849. <https://doi.org/10.1155/2021/6061849> {in English}

3. Law, K.H., Siti, Z.O., Roslan, H., Zubaidah, I. (2014). Determination of soil stiffness parameters at a deep excavation construction site in Kenny Hill Formation, *Measurement*, Vol. 47, 645-650. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.09.030>. {in English}

4. Guang, Xiu Fang, Zheng, Chao Jin. (2014). A Study of the Planning Methods in the Underground Work of Top-Down Construction in High-Rise Buildings. *Advanced Materials Research*, Vol. 1044-1045, 561-565. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.561 {in English}

5. Endicott, John. Digging deeper and smarter. URL: <https://aecom.com/without-limits/article/digging-deeper-smarter/#:~:text=Top%2Ddown%20construction%20uses%20the,new%20metro%20lines%20under%20roads>. {in English}

6. Zargar, Hossein & Mirmohamadi, S.Mostafa. (2018). Top-Down Construction Method: A Case Study of Commercial Building in Tehran. URL: [https://www.researchgate.net/publication/330313785\\_Top-Down\\_Construction\\_Method\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Commercial\\_Building\\_in\\_Tehran](https://www.researchgate.net/publication/330313785_Top-Down_Construction_Method_A_Case_Study_of_Commercial_Building_in_Tehran) {in English}

7. Dohyun, K., Sangseom, J., Gyungja, J., Jongjeon, P. (2018). Load-sharing ratio of prebored and precast pile in top-down method construction process. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27(10):e1472. DOI:10.1002/tal.1472 {in English}

8. Constantinos Emmanouil Migiakis. Top-down construction method. Vinhomes metropolis. URL: [http://labmetalstructures.civil.ntua.gr/cms/images/lectures/Top\\_down\\_construction\\_method.pdf](http://labmetalstructures.civil.ntua.gr/cms/images/lectures/Top_down_construction_method.pdf) {in English}

9. Quentin Suckling. What is top-down construction and what are its benefits. URL: <https://sheerforceeng.com/what-is-top-down-construction/>
10. Tuan, B.Q., Tam, Ng.M. (2018). Semi top-down method combined with earth-bank, an effective method for basement construction. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 143, 012047. DOI 10.1088/1755-1315/143/1/012047 {in English}
11. What is top-down construction method? (2021). URL: <https://en.istasazeh-co.com/what-is-top-down-construction-method/> {in English}
12. Huang, Mei Qun, Ding, De Yun, Yang, Xiu Ren, Wang, Chen. (2014). A new subway station construction method: top-down boring with cast-in-situ arch. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 501-504, 1706-1710. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.1706 {in English}
13. Thomson line construction. URL: <https://thomson-line.blogspot.com/2014/05/construction-methodologies.html> {in English}
14. Makhynia, O.M., Ternovi, V.I. (2005). Zastosuvannia hidravlichnoho impulsnoho zmishuvacha dlia pryhotuvannia prokhidnytskykh hlynystykh rozchyniv v sposobi "stina v grunti". *Novi tekhnologii v budivnytstvi*. №1(9), 62 – 65. {in Ukrainian}
15. Makhynia, O.M., Akimov, F.N. (2007). Metodyka doslidzhennia otsinky vplyvu zastosuvannia riznykh rozchynozmishuvachiv na tekhniko-ekonomichni pokaznyky kopannia transhei sposobom "stina v grunti". *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'*. Vyp. 21, 87-92. {in Ukrainian}
16. Setya, N., Patwardhan, P., Dherange, P. Wanchai, Hong Kong. URL: <http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects-631/Files/CENTRALplaza.pdf> {in English}
17. Top-Down Construction. URL: <https://atconsulting.com.au/top-down-construction> {in English}
18. Construction diary of Mirax Plaza (Kyiv). URL: <https://mirax-plaza-ua.livejournal.com> {in Ukrainian}
19. Young, A., Annereau, N., Butler, A., Smith, B. (2013). Case Study The Leadenhall Building, London. URL: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/19-case-study-the-leadenhall-building-london.pdf> {in English}
20. Whittle, A.J., Hashash, Y.M.A., & Whitman, R.V. (1993). Analysis of deep excavation in boston. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(1), 69-90. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1993\)119:1\(69\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1993)119:1(69)) {in English}
21. Kheir, Al-Kodmany. (2014). Green towers and iconic design: Cases from three continents. *International Journal of Architectural Research Archmet-IJAR*, 8(1): 11-28. DOI:10.26687/ARCHNET-IJAR.V8I1.336 {in English}
22. Qiping, W., Zhonghua, Xu, Zhihou, Wu, Ruobiao, Liu. (2016). Design and Performance of the Deep Excavation of a Substation Constructed by top-down Method in Shanghai Soft Soils. *Procedia Engineering*, Vol. 165, 682-694. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.766>. {in English}
23. Kiyooki, H., Junji, H., Kiyoshi, Y. (2016). Settlement behavior of piled raft foundation supporting a 300 m tall building in Japan constructed by top-down method. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2(2): 166-169. DOI:10.3208/jgssp.ESD-21 {in English}

**O. Makhynia, Y. Halenko**

***The use of pile columns during the building construction by the top-down method***

*The article examines the analysis of publications regarding the use of various types of piles-columns during top-down construction. Today, the following types of piles can be used during construction using the "up-down" technology: bored piles, bored piles with a barrel extension (bell pile), barrettes (barrette), combined piles with a steel core (king post). The article analyzes the buildings that were built by the "up-down" method, as well as the structural characteristics of the piles-columns that were used during their construction. It was established that pile-columns are expected to absorb loads in a wide range from 1.5 to 44.5 MN, on average the calculated load is from 10 to 14 MN. The length of the piles varies from 16 to 67 m, on average - 30...35 m, and they were placed with steps from 1.8 to 4.3 m, on average - 3 m. A growing trend of using combined piles with a metal core (king post) was revealed. Their main advantage is the ability to immediately perceive significant loads from the above-ground part of the building during the simultaneous construction of its underground part and guaranteed indicators of strength and stability of the column. Installation of combined piles with a metal core (king post) involves two stages. At the first stage, a pit is arranged and a reinforcing frame is installed to it, then a concrete mixture is laid to the lower monolithic part of the pile, into which the steel core of the upper part is mounted and it is covered with gravel in the pit. At the second stage, during the construction of the underground floors, the metal core is concreted. At the same time, it was established that the installation and concreting of a metal body is a technologically complex and expensive process that requires a more detailed study of the possibility of improving structural and technological solutions and reducing the cost of work.*

**Key words:** *top-down method (up-down), bored pile, pile with trunk extension, barrette, combined pile with a metal core (king post).*

***Посилання на статтю***

**APA:** 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.

**ДСТУ:** Махиня 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.