

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ГЛИБОКИХ КОТЛОВАНІВ ВИСОТНИХ СПОРУД

Володимир КРІПАК¹, Віра КОЛЯКОВА², Ганна ШПАКОВА³

^{1,2,3} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних сил, Київ, Україна, 03037

¹kripak.vd@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6575-5015>

²koliakova.vm@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

³shpakova.gv@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

Анотація. В умовах сьогодення освоєння підземного простору справедливо можна вважати одним із найважливіших і динамічних напрямків у цивільному та промисловому будівництві на світовому рівні.

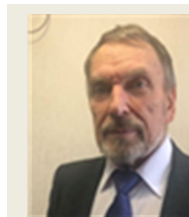
В Україні підземне будівництво набуває особливого значення у зв'язку з агресивною війною Росії. Найбільш активно підземні та заглиблені споруди зводять у великих містах та мегаполісах. Основні причини, які обумовлюють необхідність використання підземного простору в містах, включають відсутність вільних територій у межах історично сформованої забудови та вимоги до розвитку міської інфраструктури.

Сьогодні підземний простір використовують не тільки для розміщення інженерних комунікацій і транспортних об'єктів, а й для будівництва громадських комплексів, багатоповерхових підземних гаражів і паркінгів, торгових центрів, а також заглиблених частин житлових і офісних будівель.

Конструктивні рішення для підземних і заглиблених споруд, а також методи їх будівництва залежать від об'ємно-планувальних рішень, призначення, глибини закладення, інженерно-геологічних, кліматичних та сейсмічних умов будівництва, навантажень на поверхню, та близькості інших будівель і споруд.

Сьогодні максимальна глибина котлованів, що проектуються в міських умовах, зазвичай не перевищує 25-30 м, а кількість підземних поверхів складає п'ять-шість.

Зважаючи на зростаючий попит на підземний простір, особливо в густонаселених районах, проектувальники та інженери стикаються з низкою викликів, що потребують інноваційних під-



Володимир КРІПАК
професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
к.т.н., професор



Віра КОЛЯКОВА
доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
к.т.н., доцент



Ганна ШПАКОВА
професор кафедри будівельних технологій,
к.т.н., д.е.н., професор.

ходів та сучасних технологій. Це включає використання новітніх методів геотехнічного моделювання, застосування високоякісних матеріалів, що забезпечують довговічність і безпеку конструкцій, та впровадження ефективних систем водовідведення і гідроізоляції.

Особливу увагу слід приділяти питанням безпеки під час будівництва та експлуатації підземних споруд, оскільки вони можуть бути піддані впливу природних і техногенних факторів, таких як підземні води, рух ґрунтів та сейсмічна активність. Важливим аспектом є також забезпечення комфортних умов для людей, які користуються підземними об'єктами, що включає в себе вентиляцію, освітлення та евакуаційні шляхи.

Наукові дослідження та досвід міжнародних проектів демонструють, що правильне використання підземного простору здатне значно підвищити ефективність використання міських територій, сприяти сталому розвитку міст та поліпшенню якості життя їх мешканців. Інвестиції в підземне будівництво стають дедалі більш виправданими з огляду на довгострокові вигоди та необхідність адаптації до умов сучасного урбанізованого середовища.

Загалом, підземне будівництво є важливим напрямком, що має значний потенціал для розвитку та вдосконалення у майбутньому, відповідаючи на виклики часу та сприяючи розвитку сучасної інфраструктури.

Ключові слова. Котлован; підземний простір; спускний колодезь; ґрунтовий анкер; бурові палі; технологія «top-down»; розпірна ферма.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Переважає більшість підземних і заглиблених міських цивільних об'єктів, компактних в плані, а також лінійних споруд невеликої глибини влаштовують відкритим або напівзакритим способом в котлованах. При цьому щорічний обсяг таких проектів підземного будівництва України і за кордоном неухильно зростає, а також збільшуються масштаби будівельних проектів.

Зведення підземних споруд відкритим способом може здійснюватися як в котловані без кріплення, сторони яких утворені під кутом природного ухилу ґрунту, так і в котлованах, що підтримуються огорожувальними конструкціями (рис. 1).

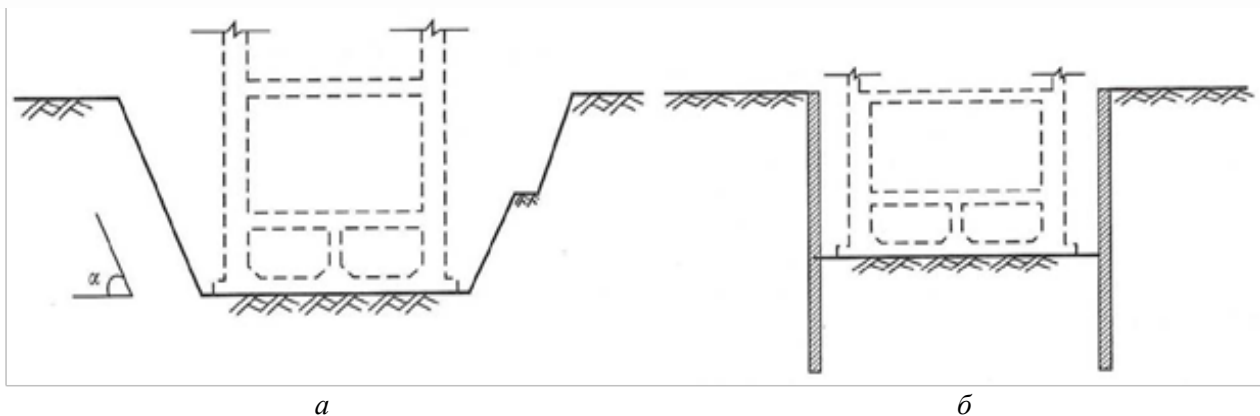


Рис. 1. Схема будівництва в котловані:

a - з ухілами;
б - з огорожею.

Fig. 1. Construction scheme in an excavation pit:

a - with slopes;
b - with enclosure.

Будівництво котлованів в схилах є найпростішим і, як правило, економічним рішенням, але застосування цього методу зустрічає безліч обмежень, особливо в умовах обмеженої міської забудови. Обмеженням, перш за все, є необхідна глибина котловану. Зі збільшенням глибини закладення необхідно робити більш пологі ухили, займана площа і обсяг виїнятого з котловану ґрунту значно збільшуються, що робить цей спосіб недоцільним або неможливим через обмеженість ділянки. Ґрунтові води значно ускладнюють застосування цього методу, так як виникає необхідність використання

будівельного зневоднення. Тому котловани в схилах зазвичай влаштовують в місцях при відсутності забудови та з глибоким рівнем ґрунтових вод.

Ще однією технологією зведення підземних споруд в котловані є спорудження спускного колодезя. Цей спосіб будівництва має на увазі спорудження колодезя на поверхні або в піонерному котловані, відкритому зверху і знизу. Стінки в нижній частині колодезя оснащуються ріжучою кромкою - ножем. При виїмці ґрунту всередині колодезя конструкція занурюється в землю під власною вагою або додатковим навантаженням.

У міру занурення стінки колодязя можна нарощувати. Після того, як колодязь занурений на проектну глибину, влаштовують дно, гідроізоляцію і роблять конструкції всередині колодязя. Як правило, колодязі проектують круглої форми в плані (рис. 2), хоча можлива і інша їх форма.



Рис. 2. Проходка збірно- монолітного опускного колодязя.
Fig. 2. Passage of a prefabricated monolithic well.

У міських умовах поблизу будівель такий спосіб в даний час зустрічається вкрай рідко у зв'язку з можливістю розвитку просадок існуючих будівель при зустрічі великих включень в ґрунтах в процесі роботи, наявності слабких і водонасичених ґрунтів.

Зведення підземних споруд в міських умовах, коли будівельний майданчик тісний і обмежений будівлями і спорудами, підземними комунікаціями, дорогами і об'єктами благоустрою, повинно проводитися не тільки з урахуванням вимог будівельних норм і правил надійності споруджуваних об'єктів, але і з урахуванням вимог щодо мінімізації впливу на існуючі будівлі і геологічне середовище. В умовах обмеженого простору в переважній більшості випадків котловани проектуються із застосуванням огорожувальних конструкцій, що дозволяють досягти нестворених цілей встановленої мети.

Конструкція опускних колодязів виконується з монолітного, збірного або збірного монолітного залізобетону. Діаметр може варіюватися від декількох метрів до декількох десятків метрів. Найбільша споруда в світі, побудована методом опускного колодязя, має діаметр 66 м і глибину занурення 70 м.

Найпростішою у виконанні і, відповідно, економічною є конструкція огорожі котловану, влаштована з вертикальних сталевих елементів, занурених в землю по контуру котловану. По мірі виїмки ґрунту в котловані між металевими елементами встановлюється огорожа з дерев'яних дошок або сталевих листів, що запобігає потраплянню ґрунту в яму.

Як правило, в якості несучих сталевих елементів використовуються труби або двотаврові балки (рис. 3), які занурюються в пробурені свердловини-лідери або задавлюються.

Цей вид огорожі не є водонепроникним, тому якщо він використовується в водонасичених ґрунтах, потрібно водопониження. У порівнянні з іншими типами огорожі котлованів конструкція із забіркою і більш деформується і менш міцна.

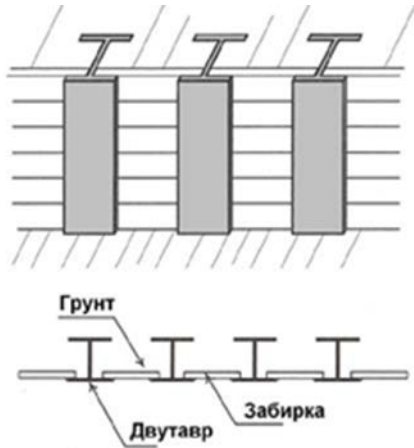


Рис. 3. Огородження котловану зі сталевих елементів з забіркою.
Fig. 3. Fencing of the pit from steel elements with a fence.

Як правило, спектр його застосування обмежується глибиною котловану до 10 м, його застосування не рекомендується при наявності водонасичених структурно нестійких ґрунтів в основі.

Найпростішою у виконанні і, відповідно, економічною є конструкція огорожі котловану, влаштована з вертикальних сталевих елементів, занурених в землю по контуру котловану. По мірі виїмки ґрунту в котловані між металевими елементами встановлюється огорожа з дерев'яних дощок або

сталевих листів, що запобігає потраплянню ґрунту в яму.

Як правило, в якості несучих сталевих елементів використовуються труби або двутаврові балки (рис. 4), які занурюються в пробурені свердловини-лідери або задавлюються. Цей вид огорожі не є водонепроникним, тому якщо він використовується в водонасичених ґрунтах, потрібно водопониження.

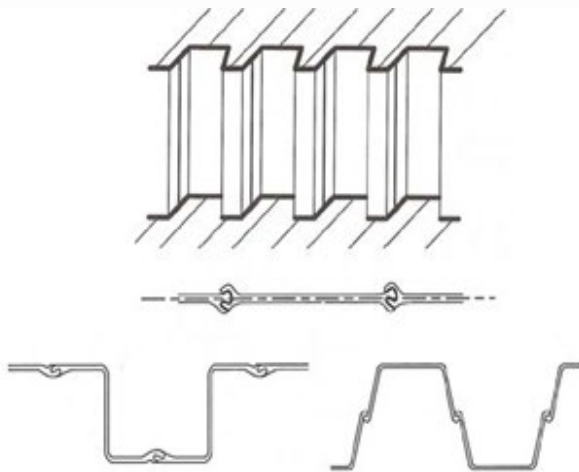


Рис. 4. Шпунтове огородження котловану.
Fig. 4. Sheet pile fencing of the pit.

У порівнянні з іншими типами огорожі котлованів конструкція із забіркою і більш деформується і менш міцна. Як правило, спектр його застосування обмежується глибиною котловану до 10 м, його застосування

не рекомендується при наявності водонасичених структурно нестійких ґрунтів в основі.

В ідеальному випадку котлован повинен поєднувати в собі наступні основні функції:

сприймати бічний тиск ґрунту, бути непроникною завісою і сприймати гідростатичний тиск ґрунтових вод, при необхідності сприймати вертикальні навантаження, мінімізувати вплив котловану на навколишні будівлі. Сукупності всіх цих функцій найбільш повно відповідають конструкції, влаштовані методом «стіна в ґрунті». Зведення огорож котлованів і фундаментів будівель методом «стіна в ґрунті» передбачає спорудження вузької траншеї необхідної глибини в землі за допомогою спеціальної техніки,

стійкість стін якої забезпечується спеціальними розчинами з бентонітових глин.

Після того як виїмка захватки доведена до проектного рівня, в неї занурюють просторовий арматурний каркас. Далі в траншею занурюється труба, в яку подається бетонна суміш, що витісняє на поверхню бентонітовий розчин, що перебував в захватці.

Таким чином, бетонування здійснюється знизу до гори в процесі підйому бетонолитної труби.

Послідовність робіт по влаштуванню «стіна в ґрунті» показана на рис. 5

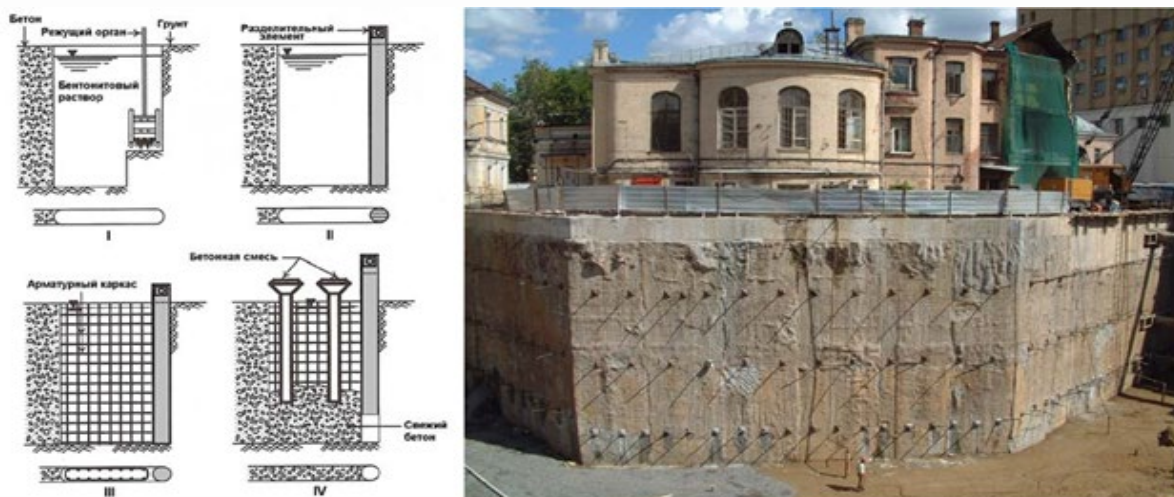


Рис. 5. Послідовність влаштування «стіна в ґрунті». Приклад влаштування монолітної «стіна в ґрунті».

Fig. 5. The sequence of installation of the "wall in the ground". An example of a monolithic "wall in the ground".

Крім описаної технології влаштування монолітних залізобетонних «стін в землі», використовують також збірні і збірні монолітні стіни, для зведення яких в траншею занурюють елементи заводського виготовлення. При будівництві підземних споруд широко використовують збірні монолітні «стіна в ґрунті» з листовою арматурою. Ці конструкції складаються з несучих залізобетонних блоків заводського виготовлення з циліндричними бічними поверхнями, оснащених листовою арматурою з боку підземної споруди, і монолітних неармованих ділянок між ними. В даний час розробляються збірні «стіна в землі» з попередньо напруженою арматурою.

В сучасних умовах «стіна в ґрунті» є найбільш універсальною конструкцією, яка використовується в підземному будівництві для огорожі котлованів і захисту від ґрунтових вод. Устаткування провідних світових виробників здатне виготовляти стінки траншеї глибиною до 70 м і шириною від 400 до 1200 мм. Влаштування траншейних «стін в ґрунті» в міських умовах все ж має ряд обмежень, пов'язаних в першу чергу з можливістю виходу бентонітового розчину в порожнини в техногенних відкладеннях і макропористих ґрунтах.

Небезпечно також проникнення глиняної суспензії в інженерні комунікації в безпосередній близькості від них. Недоліком «стін в ґрунті» є її висока вартість.

При складній формі конфігурації підземної споруди в плані все більш широке застосування набуває зведення огорож котлованів з буронабивних паль. Якщо рівень ґрунтових вод розташований нижче дна котловану або передбачається будівельне водопониження, конструкцію, що огорожує котлован, можна виконати з окремо стоячих або дотичних буронабивних паль.

Для монтажу тіла палі використовуються різні технології, найпоширеніша з яких - буріння ґрунту під захистом інвентарної обсадної труби, бетонування свердловини за допомогою піднятої бетонно-литої труби, занурення арматурного каркаса в «свіжий» бетон.

Для зведення огорож котлованів, як правило, використовують сікучі палі діаметром від 0,6 до 1,2 м, при відсутності ґрунтових вод застосовують окремі палі менших діаметрів. Досить висока міцність і жорсткість палі дозволяє розробляти під їх захист котловани глибиною до 20-25 м.

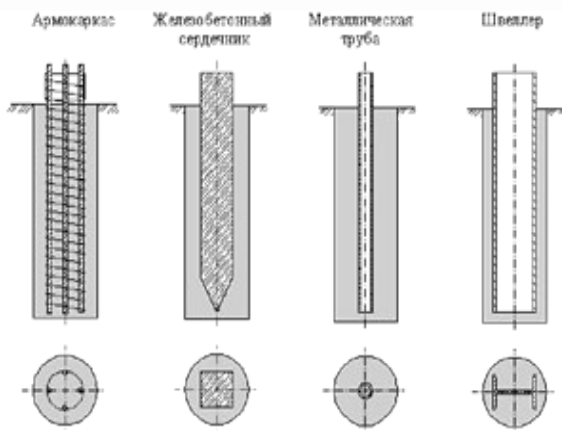


Рис. 6. Огородження котлованів, виконане з використанням струменевої технології.
Fig. 6. Fencing of pits made using jet technology.

Багаторядні струменеві палі також використовуються для зміцнення фундаментів будівель, розташованих на краю котлованів, разом зі створенням масивних підпірних стінок. Приклад такого технічного рішення огорожі котловану, реалізованого на практиці, наведено на рис. 7.

До недоліків таких підпірних стінок можна віднести гіршу гідроізоляцію, ніж траншейні «стіни в ґрунті», а також досить високу вартість. При неякісному виконанні палі в нестійких водонасичених ґрунтах можливі прориви ґрунтової маси в котлован через дефектні стики.

В останні роки при будівництві котлованів все частіше стала застосовуватися струменева технологія (**jet-grouting**). Суть цієї технології полягає в змішуванні ґрунту з цементним розчином або в повній заміні ґрунту розчином за допомогою струменя високого тиску. Для цього в свердловині-лідери малого діаметра занурюють гідромонітор з боковим соплом для створення струменя води під високим тиском і торцевим отвором для подачі твердіючого наповнювача. При підйомі бурової штанги включається обертовий гідромонітор, який здійснює розмивання ґрунту в свердловині під тиском до 50 МПа і одночасну подачу цементного розчину. В результаті в ґрунті утворюється стовп із ґрунтоцементу діаметром 0,8-1,5 м. (рис.6).



Сучасні технології надають проектувальникам і будівельникам широкий спектр методів влаштування огорожувальних конструкцій котлованів. Кожен з них, має свій ряд переваг і недоліків.



Рис. 7 Огородження котловану, об'єднане з функцією підсилення фундаментів.
Fig. 7. Fencing of the pit, combined with the function of strengthening the foundations.

Ефективність використання того чи іншого виду огорожі визначається ґрунтово-гідрогеологічними умовами, глибиною і розмірами котловану, наявністю навколишніх будівель, споруд і комунікацій. Порівняння

узагальнених техніко-економічних показників розглянутих типів огорожувальних конструкцій котлованів представлено на рис. 8.

Тип огорожі	Ґрунтові умови				Водопроникність	Міцність та жорсткість	Шум та вібрація	Вплив на навколишню забудову	Можлива глибина котловану	Швидкість будівництва	Можливість сприймати навантаження від будівлі	Економічність
	Слабкий ґрунт	Вологі піски	Водонасичені піски	Ґравелісти та скальні ґрунти								
Огородження з металевих елементів із забірною	Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Green
Шпунтове огороження	Yellow	Green	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Red	Green	Red	Yellow
Стіна в ґрунті	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Red
Огородження з паль	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Red
Огородження з використанням струмінної або змішувальної технології	Red	Green	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red

Green Добре Yellow Задовільно Red Погано

Рис. 8. Техніко-економічні показники різних типів огороження котлованів.
Fig. 8. Technical and economic indicators of various types of pit enclosures.

Консольні огорожі котлованів працюють в несприятливих умовах, так як їх стійкість забезпечується тільки закладенням нижнього кінця стіни в ґрунт. У таких конструкціях при гіперболічній залежності від глибини котловану збільшуються значення внутрішніх сил і горизонтальних переміщень. У міських умовах консольні підпірні стінки використовуються при глибині котловану, як правило, не перевищує 5 м.

СУЧАСНІ МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ КРІПЛЕННЯ ОГОРОЖ КОТЛОВАНІВ.

Найкращим з точки зору зручності виїмки ґрунту і організації робіт в котловані є кріплення огорожувальної конструкції ґрунтовими анкерами. Анкери - це пристрої, що дозволяють передавати тягове зусилля на ґрунтову масу. За способом побудови анкери поділяються на свердлильні, гвинтові,

подрібнені, забивні та комбіновані. У більшості випадків бурові анкери використовуються для кріплення огорож котловану в міських умовах. Конструкція бурового нагнітального ґрунтового анкера показана на рис. 9.а і складається з головки, стрижня в оболонці і робочої частини, затиснутої в землі. Штанга передає тягове зусилля від головки, закріпленої на внутрішній стороні огорожі котловану, на робочу частину (корінь) якоря, що запобігає протягуванню. За способом опору висмикуванню їх конструкції класифікуються на фрикційні анкери, анкери з опором і анкери змішаного типу (рис. 9.б). За конструкцією анкерного стрижня розрізняють штокові, багатожильні і трубчасті анкери. Як правило, анкери піддаються попередньому натягу, що дозволяє зменшити горизонтальні переміщення огорожі котловану і згинальні моменти в ній.



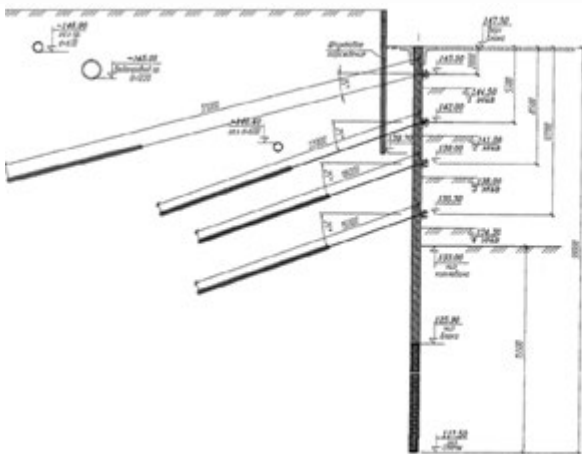
Рис. 9. Конструкції анкерів:
a - ін'єкційного ґрунтового анкера;
б - типи анкерів.

Fig. 9. Anchor structures:
a - injection soil anchor;
b - types of anchors.

Сила тяги, яка може бути передана на якір, визначається несучою здатністю якоря по ґрунту, а також міцністю самої конструкції анкерного стрижня. У слабких ґрунтах збільшити несучу здатність якоря на ґрунті можна за рахунок збільшення довжини анкерного кореня або його діаметра, застосування багаторазових ін'єкцій та вибору правильної технології ін'єкції. Несуча здатність ґрунтових анкерів повинна бути підтверджена пробними випробуваннями. Значення сил, що сприймаються на практиці одиничним якорем в дисперсних ґрунтах, як правило, знаходяться в межах від 0,1 до 0,5 МН, а в напівскельних і скельних - до 1 МН. Анкери встановлюються по периметру котловану з горизонтальним кроком, зазвичай 0,8-2,5 м при куті нахилу до горизонту до 30-40 м. Для більш рівномірної передачі зусиль від анкерів до огорожі котловану влаштовують розподільні пояси.

У глибоких котлованах і анкери встановлюються в кілька ярусів по висоті. Чим глибше котлован, тим більша кількість ярусів потрібна, і тим менше відстань між анкерами. Коріння анкерів повинні розташовуватися за межами трикутної призми активного тиску ґрунту на підпірну конструкцію, тому довжина анкерів в нижніх ярусах зазвичай коротше, ніж у верхніх.

За часом експлуатації ґрунтові анкери поділяються на тимчасові та постійні. Термін служби тимчасових анкерів не повинен перевищувати двох років, їх використовують тільки на етапі виїмки котловану. Постійні анкери є невід'ємною частиною конструкції заглибленої споруди протягом усього терміну її служби. Для постійних анкерів повинна бути передбачена антикорозійний захист.



а



б

Рис. 10. Схема анкерного кріплення (а) і приклад виготовленого котловану із кріплення стін анкерами.

Fig. 10. Scheme of anchor fastening (a) and an example of a prepared pit from fastening walls with anchors.

Крім того, в даний час в практиці введення котлованів використовується тимчасова розпірна система з металевих елементів для кріплення огорож котлованів (рис. 12). В якості розпірок зазвичай використовуються сталеві труби або сортовий прокат. У глибоких котлованах розпірні системи встановлюються в кілька ярусів. Висоти установки ярусів стійок вибираються з статичного

розрахунку конструкції з урахуванням зручності їх подальшого демонтажу. Для цього розпірки розташовуються трохи вище постійних перекриттів в підземній частині проєктованої конструкції. Крок установки розпірних елементів в плані, як правило, знаходиться в діапазоні від 4 до 8 м. Оскільки розпірки передають на огорожу значні зосереджені навантаження, монтаж металевих або залізобетонних розподільних поясів на рівні

установки розпірок є обов'язковим. При необхідності установки розпірок більше 20 м зазвичай роблять тимчасові проміжні

опори-стійки, які зменшують вільну довжину стійок.

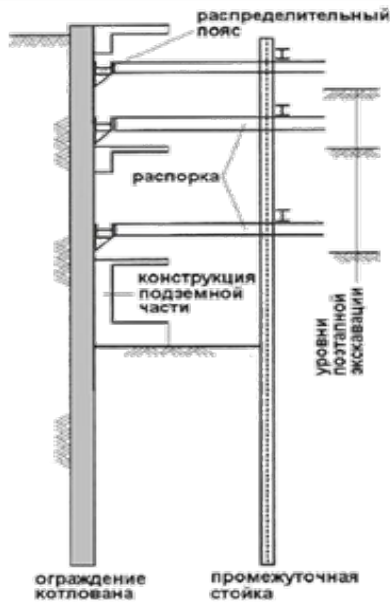


Рис. 11. Багатоюрисне розташування кріплення котловану.
Fig. 11. Multi-tiered location of pit fastening.

Ще одне нововведення, яке отримало широке поширення за кордоном - розпірні системи у вигляді ферм (рис.12).

Конструкції горизонтальних залізобетонних ферм з проміжними стійками використовуються для виїмки котлованів значних розмірів у плані.

Після завершення котловану такі конструкції можна включати в ребристі перекриття підземних поверхів споруди.

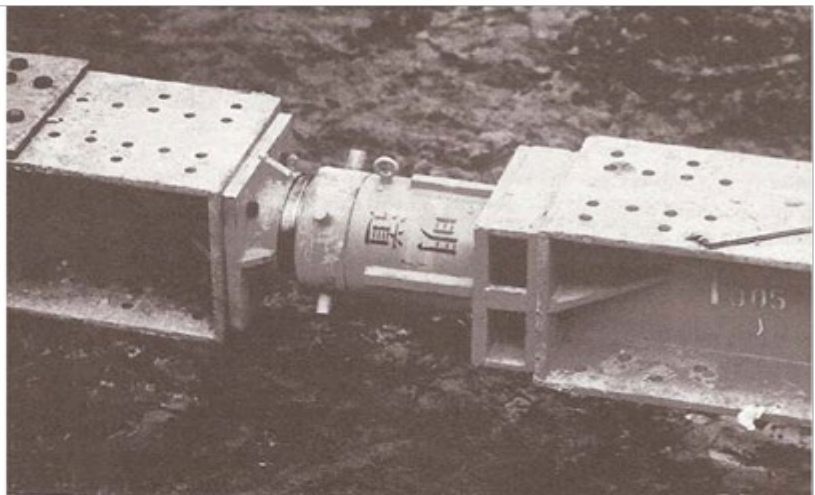
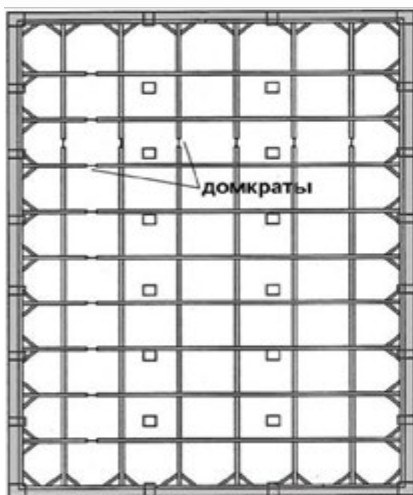


Рис. 12. Розпірне кріплення із інвентарних елементів (а) і конструкція напружуючого домкрату (б).

Fig. 12. Spacer fastening from inventory elements (a) and construction of tension jack (b).

На практиці також часто використовуються різні комбіновані утримуючі системи для огорожі котлованів, які включають в себе як анкерні, так і розпірні елементи кріплення. Для котлованів складної і неправильної конфігурації в плані застосовують комбінацію цих видів кріплення в різних частинах периметра (рис. 13). На ділянках звуження котловану або кутових ділянках раці-



ональніше використовувати розпірні системи, в той час як в місцях максимальної ширини котловану перевага віддається анкерної опори. Комбінації анкерів і підкосів по висоті огорожі виникають, коли нижній ярус кріплення потрібно розташувати нижче рівня ґрунтових вод і при цьому забезпечити гідроізоляцію підпірної конструкції.



Рис. 13. Комбіновані утримуючі системи.

Fig. 13. Combined holding systems

Будівництво підземних і заглиблених споруд в обмежених міських умовах часто здійснюється за допомогою напівзакритого способу виїмки ґрунту за технологією «зверху-вниз», що дозволяє мінімізувати вплив будівництва на природний напружено-деформований стан ґрунтової маси. Цей спосіб має на увазі установку тимчасових або пос-

тійних опор всередині контуру споруди з поверхні ґрунту або з проміжних відміток в котлован, що підтримують перекриття підземної частини будівлі, забетонованої на ґрунті і сприймає тиск від огорожі котловану. Виїмка ґрунту в котловані здійснюється з-під перекриттів через технологічні отвори (рис. 14.а).

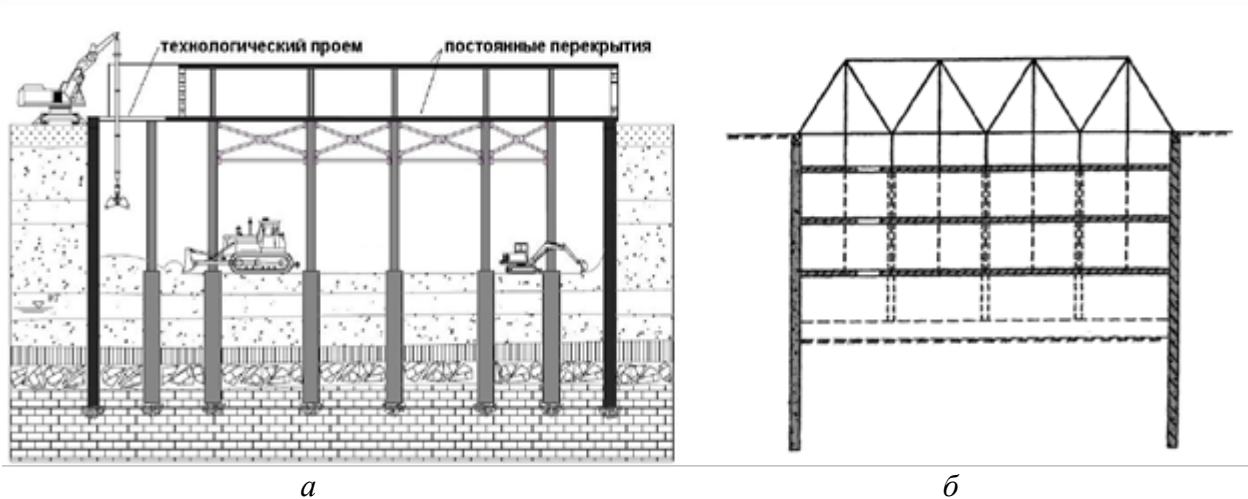


Рис. 14. Будівництво підземного простору по технології «top-down».

Fig. 14. Construction of underground space using "top-down" technology.

Міжповерхові перекриття бетонуються послідовно в міру видалення ґрунту. У разі використання тимчасових опор, що підтримують перекриття, їх демонтують після зведення фундаментної плити і постійних колон або несучих стін, забетонованих знизу вгору (рис. 14.б)

В якості огорожі котловану при будівництві за технологією «зверху-вниз» зазвичай використовується «стіна в ґрунті», яка здатна поглинати вертикальні навантаження від ваги підземних поверхів.

Ще одним яскравим прикладом застосування додаткових заходів у світовій практиці є влаштування так званих Т-образних підпирних стінок, або огорож з контрфорсами. Такі конструкції використовуються на значних глибинах і площах котлованів. Контрфорси можуть влаштовуватися як методом «стіни в ґрунті», так і з монолітного залізобетону в піонерному котловані. Прикладом застосування останньої технології є

будівництво культурного комплексу в Сінгапурі (рис. 15.б). Конструктивна схема огороження котловану комплексу показана на рис. 15.а. Котлован мав глибину 10 м і ширину понад 180 м. Будівництво підземної частини почалося з монтажу «шлямової стіни» по периметру і тимчасового шпунтового паркану на відстані 17 м від нього всередині контуру споруди. Перед початком земляних робіт з поверхні між стіною і шпунтовими палями були зроблені бурові палі, забетоновані до рівня дна котловану. Далі була проведена розробка піонерного котловану між постійною і тимчасовою стінами під захистом двох ярусів підкосів. Після завершення земляних робіт була встановлена фундаментна плита і контрфорси, що дозволило додатково утримувати тиск ґрунту без допомоги додаткового кріплення «стіни в ґрунті». Роботи завершилися демонтажем стіни з тимчасової шпунтової палі та виїмкою основного котловану.

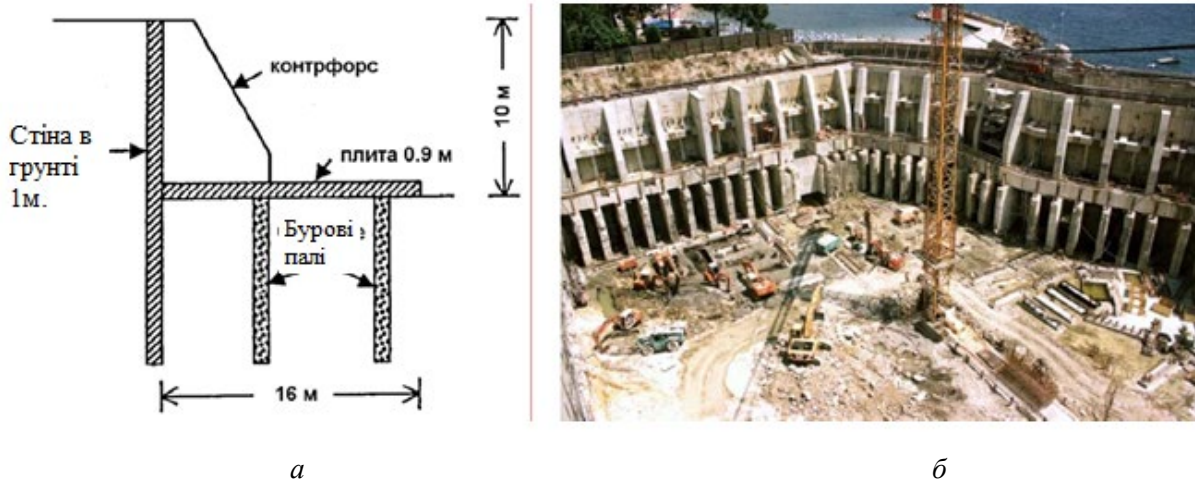


Рис. 15. Влаштування огорожувальних конструкцій котлованів з контрфорсами.

а Конструктивна схема огорожі підпирними стінками з контрфорсами

б Зведення культурного комплексу в Сінгапурі з використанням стін з контрфорсами

Fig. 15. Installation of enclosure structures of pits with buttresses.

a Structural scheme of the fence with retaining walls with counterfosses

b Construction of a cultural complex in Singapore using walls with buttresses

При проектуванні підземних споруд, які зводяться в огорожених котлованах необхідно виконувати вимоги нормативних документів [1, 2]. Відповідно до розділу 9 [2] розрахунки повинні передбачати визначення: несучої здатності основи, стійкості споруди і окремих її елементів; стійкості схилів, що

примикають до споруди, укосів, бортів котлованів; стійкості огорожувальних конструкцій; внутрішніх зусиль в огорожувальних, розпирних, анкерних і фундаментних конструкціях; деформацій системи «основа-підземна споруда».

Розрахунки системи «основа- підземна споруда» слід виконувати шляхом числового моделювання їх взаємодії.

Для підземних і заглиблених споруд, у яких є горизонтальні навантаження з внутрішнього боку і можливий реактивний опір основи, тиск на огорожувальні конструкції слід визначати з врахуванням дій активного тиску та реактивного опору основи.

Згідно з [2] при проектуванні підземних споруд значних та середніх наслідків (СС3) та (СС2) необхідно передбачати проведення науково-технічного супроводу, а також інженерні заходи з екологічної безпеки

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Враховуючи тенденції розвитку висотного будівництва і реалії сьогодення, сучасні висотні будинки повинні мати достатню кількість підземних поверхів для розташування інженерного обладнання, паркінгів, підземних сховищ і укрить.

Можливості сучасних технологій і обладнання надають інженерам і будівельникам величезний вибір доступних методів зведення підземних і заглиблених споруд. Широкий спектр технічних рішень по установці котлованів і варіантів їх кріплення охоплює практично весь спектр інженерних, геологічних і гідрогеологічних умов, необхідних глибин і планованих розмірів конструкцій. Вибір конструктивної схеми підземної споруди, типу огорожі котловану, способу його кріплення і технологічної послідовності робіт в котловані повинні бути продумані і взаємно пов'язані. У складних умовах цей вибір слід робити, як правило, на основі техніко-економічного порівняння варіантів. Приоритетним напрямком вважаємо будівництво з використанням технологій «top-down».

ЛІТЕРАТУРА

1. **Основи та фундаменти споруд.** Зміна №1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. – (Будівельні норми України).
2. **Основи і фундаменти будівель та споруд.** ДБН В.2.1-10:2018. – [Чинний від 2019-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2018. – 35 с. – (Будівельні норми України).
3. **Самедов А.М.** Розрахунок та проектування підземних споруд мілкового закладання.-К.: НТУУ КПІ, 2013.-852 с.
4. **Самедов А.М.** Розрахунок та проектування геотехнічних інженерних споруд.-К.: НТУУ КПІ, 2013.-883 с.
5. **Li, Q., Liu, W., Liu, L., Li, Y., Cui, P.** Numerical Simulation of the Influence of a Deep Foundation Pit Adjacent to a Utility Tunnel: Case Study *Practice Periodical on Structural Design and Construction* Том 29, Выпуск 31 August 2024 Номер статті 05024005 DOI: [10.1061/PPSCFX.SCENG-1395](https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1395)
6. **Zhang, Y., Yang, S., Sang, S., ...Hao, Z., Bai, X.** (2024) Mechanical characteristics and application of cement-soil wrapped pile support structures for soil-rock combination pit in coastal area. *Ocean Engineering*, 301, 117491 DOI [10.1016/j.oceaneng.2024.117491](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117491)
7. **Qiao, Y., Xie, F., Bai, Z., Lu, J., Ding, W..** (2024) Deformation characteristics of ultra-deep circular shaft in soft soil: A case study. *Underground Space (new)*, 16, p.239-260 DOI: [10.1016/j.undsp.2023.09.0064](https://doi.org/10.1016/j.undsp.2023.09.0064).
8. **Xu, Q., Xie, J., Lu, L., ...Wu, C., Meng, Q.** (2024) Numerical and theoretical analysis on soil arching effect of prefabricated piles as deep foundation pit supports. *Underground Space (new)*, 16, p.314-330 DOI [10.1016/j.undsp.2023.09.011](https://doi.org/10.1016/j.undsp.2023.09.011)
9. **Li, Q., Cheng, F., Zhang, X.** (2024) Numerical Simulation and Deformation Prediction of Deep Pit Based on PSO-BP Neural Network Inversion of Soil Parameters. *Sensors*, 24(10), 2959 DOI: [10.3390/s24102959](https://doi.org/10.3390/s24102959)
10. **Zhang, J., Qiao, G., Feng, T., Zhao, Y., Zhang, C.** (2022) Dynamic back analysis of soil deformation during the construction of deep cantilever foundation pits. *Scientific Reports*, 12 (1), art. no. 13112. DOI: [10.1038/s41598-022-17513-4](https://doi.org/10.1038/s41598-022-17513-4)
11. **Wang, Y., Pan, X., Xu, H., ...He, L., Zhang, W.** (2024) Characteristics analysis for high-rise buildings during top-down construction *Journal of Civil Engineering and Management*, 30(4), p. 326-342 DOI: [10.3846/jcem.2024.20818](https://doi.org/10.3846/jcem.2024.20818)
12. **Tan, Y., Wang, D.** Characteristics of a large-scale deep foundation pit excavated by the central-island technique in shanghai soft clay. II: Top-Down construction of the peripheral rectangular pit. (2013) *Journal of Geotechnical and*

- Geoenvironmental Engineering*, 139 (11), pp. 1894-1910.
doi: [10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000929](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000929)
13. **Tan, Y., Wang, D.** (2013) Characteristics of a large-scale deep foundation pit excavated by the central-island technique in shanghai soft clay. I: Bottom-up construction of the central cylindrical shaft. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139 (11), pp. 1875-1893.
doi: [10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000928](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000928)
14. **Винников, Ю., & Акоюн, М.** (2023). Практика влаштування більш глибокого котловану за рівень подошви фундаментів навколишніх будівель. *Основи та Фундаменти / Bases and Foundations*, (46), 28–37.
<https://doi.org/10.32347/0475-1132.46.2023.28-37>
15. **Бондарева, Л., & Хоронжевський, М.** (2022). Оцінка впливу процесу влаштування огорожувальних конструкцій котловану на оточуючу забудову. *Основи та Фундаменти / Bases and Foundations*, (45), 22–32.
<https://doi.org/10.32347/0475-1132.45.2022.22-32>
16. **Кравчуновська Т. С.** Комплексна реконструкція житлової забудови: організаційно-технологічні аспекти : монографія / Т. С. Кравчуновська. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2010. – 230 с.
17. **Поколенко В. О., Лагутін Г. В., Тугай О. А., Куліков П. М.** Новітні інформаційно-аналітичні моделі управління підготовкою будівництва на засадах девелопменту / В. О. Поколенко, Г. В. Лагутін, О. А. Тугай, П. М. Куліков, Н. О. Борисова, Д. О. Приходько, Ю. А. Чуприна, В. А. Скакун // *Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури*. – 2010. – Вип. 1. – С. 39-42. –
Режим доступу:
http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss_2010_1_9.
18. **Sidney L.** Project management in construction / L. Sidney. – 6th Edition. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.
19. **Кріпак В.Д.** Реконструкція будівель з використанням зовнішнього та внутрішнього металевих каркасів. / *Кріпак В.Д., Дробаха О.К.* // *Сборник трудов XIII Международной научной конференции Современ-ные достижения в науке и образова-нии. 6-13 сентября 2018 г. Нетания, Израиль.* - 174-177 с.
20. **Кріпак В.Д.** Реконструкція будівель з використанням зовнішнього та внутрішнього металевих каркасів. / *Кріпак В.Д., Дробаха О.К.* // II Науково –практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, КНУБА, 24-25 травня 2018 р.), С. 93-96.
21. **Кріпак В.** Адекватність і взаємовплив конструктивної і розрахункової схеми будівлі. / *Кріпак В., Колякова В., Демченко Д.* // III Науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, КНУБА, 22-23 квітня 2021 р.) – 156 с. – С. 27-28.
22. **Кріпак, В. & Колякова, В.** (2021). Взаємозалежність конструктивних і розрахункових схем будівлі. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 1(8), 17–24.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
23. **Кріпак В.,** Особливості розрахунку і проектування фундаментної системи «З/б плита-грунтова основа-палі»/ *Кріпак В., Бакур Хасіб.* // *Праці Міжнародної ювілейної конференції з питань надійності будівельних констр.* Полтава, 1997.
24. **Михайловська О.В., Олексієнко О.Б.** Закріплення стінок захисних споруд із застосуванням ґрунтоцементних елементів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. – Одеса: ОДАБА, 2019 Вип № 75, С. 44 – 55.
[DOI: 10.31650/2415-377X-2019-75-44-52](https://doi.org/10.31650/2415-377X-2019-75-44-52)

REFERENCES

1. **Osnovy ta fundamenty sporud. Zmina №1:** DBN V.2.1–10–2009. – [Chynnyi vid 2011–07–01]. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 55 s. – (*Budivelni normy Ukrainy*).
2. **Osnovy i fundamenty budivel ta sporud.** DBN V.2.1–10:2018. – [Chynnyi vid 2019–01–01]. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2018. – 35 s. – (*Budivelni normy Ukrainy*).
3. **Samedov A.M.** Rozrakhunok ta proiektuvannia pidzemnykh sporud milkoho zakladannia.-К.: NTUU KPI, 2013.-852 s.
4. **Samedov A.M.** Rozrakhunok ta proiektuvannia heotekhnichnykh inzhenernykh sporud.-К.: NTUU KPI, 2013.-883 s.
5. **Li, Q, Liu, W., Liu, L., Li, Y., Cui, P.** (2024) Numerical Simulation of the Influence of a Deep Foundation Pit Adjacent to a Utility Tunnel: Case Study *Practice Periodical on Structural Design and Construction* Том 29, Выпуск 31 August 2024 Номер статьи 05024005
[DOI: 10.1061/PPSCFX.SCENG-1395](https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1395)

6. **Zhang, Y., Yang, S., Sang, S., ...Hao, Z., Bai, X.** (2024) Mechanical characteristics and application of cement-soil wrapped pile support structures for soil-rock combination pit in coastal area. *Ocean Engineering*, 301, 117491 [DOI 10.1016/j.oceaneng.2024.117491](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117491)
7. **Qiao, Y., Xie, F., Bai, Z., Lu, J., Ding, W..** (2024) Deformation characteristics of ultra-deep circular shaft in soft soil: A case study. *Underground Space (new)*, 16, p.239–260 [DOI:10.1016/j.undsp.2023.09.0064](https://doi.org/10.1016/j.undsp.2023.09.0064).
8. **Xu, Q., Xie, J., Lu, L., ...Wu, C., Meng, Q.** (2024) Numerical and theoretical analysis on soil arching effect of prefabricated piles as deep foundation pit supports. *Underground Space (new)*, 16, p.314–330 [DOI 10.1016/j.undsp.2023.09.011](https://doi.org/10.1016/j.undsp.2023.09.011)
9. **Li, Q., Cheng, F., Zhang, X.** (2024) Numerical Simulation and Deformation Prediction of Deep Pit Based on PSO-BP Neural Network Inversion of Soil Parameters. *Sensors*, 24(10), 2959 [DOI:10.3390/s24102959](https://doi.org/10.3390/s24102959)
10. **Zhang, J., Qiao, G., Feng, T., Zhao, Y., Zhang, C.** (2022) Dynamic back analysis of soil deformation during the construction of deep cantilever foundation pits. *Scientific Reports*, 12 (1), art. no. 13112. [DOI: 10.1038/s41598-022-17513-4](https://doi.org/10.1038/s41598-022-17513-4)
11. **Wang, Y., Pan, X., Xu, H., ...He, L., Zhang, W.** (2024) Characteristics analysis for high-rise buildings during top-down construction *Journal of Civil Engineering and Management*, 30(4), p. 326–342 [10.3846/jcem.2024.20818](https://doi.org/10.3846/jcem.2024.20818)
12. **Tan, Y., Wang, D.** (2013) Characteristics of a large-scale deep foundation pit excavated by the central-island technique in shanghai soft clay. II: Top-Down construction of the peripheral rectangular pit. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139 (11), pp. 1894-1910. [doi: 10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000929](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000929)
13. **Tan, Y., Wang, D.** (2013) Characteristics of a large-scale deep foundation pit excavated by the central-island technique in shanghai soft clay. I: Bot-tom-up construction of the central cylindrical shaft. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139 (11), pp. 1875-1893. [doi: 10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000928](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000928)
14. **Vynnykov, Yu., & Akopian, M.** (2023). Praktyka vlashtuvannia bilsh hlybokoho kotlovanu za riven pidoshvy fundamentiv navkolyshnykh budivel. *Osnovy ta Fundamenty / Bases and Foundations*, (46), 28–37. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.46.2023.28-37>
15. **Bondareva, L., & Khoronzhevskiy, M.** (2022). Otsinka vplyvu protsesu vlash-tuvannia ohorodzhuvalnykh konstrukttsii ko-tlovanu na otochuiuchu zabudovu. *Osnovy ta Fundamenty / Bases and Foundations*, (45), 22–32. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.45.2022.22-32>
16. **Kravchunovska T. S.** Kompleksna rekonstruktsiia zhytlovoi zabudovy: orhanyzatsiino-tekhnologichni aspekty : *monohrafiia / T. S. Kravchunovska.* – Dnipropetrovsk : Nauka i osvita, 2010. – 230 s.
17. **Pokolenko V. O., Lahutin H. V., Tu-hai O. A., Kulikov P. M.** Novitni informatsiino-analitychni modeli upravlinnia pidhotovkoiu budivnytstva na zasadakh developmentu / *V. O. Pokolenko, H. V. Lahutin, O. A. Tuhai, P. M. Kulikov, N. O. Borysova, D. O. Prykhodko, Yu. A. Chupryna, V. A. Skakun // Upravlinnia rozvytkom skladnykh system : zb. nauk. pr. / Kyiv. nats. un-t bud-va i arkhitektury.* – 2010. – Vyp. 1. – S. 39-42. – *Rezhym dostupu:* http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss_2010_1_9.
18. **Sidney L.** Project management in construction / *L. Sidney.* – 6th Edition. – NewYork :McGraw-Hill, 2006. – 402 p.
19. **Kripak V.D.** Rekonstruktsiia budivel z vykorystanniam zovnishnoho ta vnutrish-noho metaleykykh karkasiv./ Kripak V.D., Drobakha O.K. // *Sbornyk trudov XIII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsyy Sovremennye dostyazheniya v nauke y obra-zovanyy. 6-13 sentiabria 2018 h. Netanyia, Yzrayl.*- 174-177 s.
20. **Kripak V.D.** Rekonstruktsiia budivel z vykorystanniam zovnishnoho ta vnutrish-noho metalevoho karkasiv. /Kripak V.D., Drobakha O.K. // *II Naukovo –praktychna konferentsiia «Budivli ta sporudy spetsialnoho pryznachennia: suchasni materialy ta konstrukttsii» (m. Kyiv, KNUBA, 24-25 tra-wnia 2018 r.), S. 93-96.*
21. **Kripak V.** Adekvatnist i vzaïmovplyv konstruktyvnoi i rozrakhunkovoi skhemy budivli. / Kripak V., Koliakova V., Demchenko D. // *III Naukovo-praktychna konferentsiia «Budivli ta sporudy spetsialnoho pryznachennia: suchasni materialy ta konstrukttsii» (m. Kyiv, KNUBA, 22-23 kvitnia 2021 r.) – 156 s. – S. 27-28.*

22. **Kripak, V. & Koliakova, V. (2021).** Vzaïmozalezhnist konstruktyvnykh i rozrakhunkovykh skhem budivli. // *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, 1(8), 17–24.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
23. **Kripak V.** Osoblyvosti rozrakhunku i proektuvannia fundamentnoi systemy «Z/b plytahruntova osnova-pali»/ Kripak V., Bakur Khasib. // *Pratsi Mizhnarodnoi yuvileinoi konferentsii z pytan nadiinosti budivelnykh konstr. Poltava*, 1997.
24. **Mykhailovska O.V., Oleksienko O.B.** Zakryp-lennia stinok zakhysnykh sporud iz zastosuvanniam hruntosementnykh elementiv. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa: ODABA, 2019 Vyp № 75, S. 44 – 55.*
[DOI: 10.31650/2415-377X-2019-75-44-52](https://doi.org/10.31650/2415-377X-2019-75-44-52)

ENSURING THE STABILITY OF DEEP BOILERS OF HIGH-RISE BUILDINGS

*Volodymyr KRIPAK
Vira KOLIAKOVA
Hanna SHPAKOVA*

Summary. In today's conditions, the development of underground space can rightly be considered one of the most important and dynamic directions in civil and industrial construction at the world level.

In Ukraine, underground construction takes on special importance in connection with Russia's aggressive war. Underground and buried structures are being built most actively in large cities and megacities. The main reasons for the need to use underground space in cities include the lack of free territories within historically formed buildings and requirements for the development of urban infrastructure.

Today, the underground space is used not only for the placement of engineering communications and transport facilities, but also for the construction of public complexes, multi-storey underground garages and parking lots, shopping centers, as well as buried parts of residential and office buildings.

Structural solutions for underground and buried structures, as well as their construction methods, depend on spatial planning solutions, purpose, depth of laying, engineering-geological, climatic and seismic construction conditions, surface loads, and the proximity of other buildings and buildings

Today, the maximum depth of pits designed in urban conditions usually does not exceed 25-30 m, and the number of underground floors is five to six.

Given the growing demand for underground space, especially in densely populated areas, designers and engineers face a number of challenges that require innovative approaches and modern technologies. This includes the use of the latest methods of geotechnical modeling, the use of high-quality materials that ensure the durability and safety of structures, and the implementation of effective water drainage and waterproofing systems.

Particular attention should be paid to safety issues during the construction and operation of underground structures, as they may be exposed to natural and man-made factors, such as groundwater, soil movement, and seismic activity. An important aspect is also the provision of comfortable conditions for people using underground facilities, which includes ventilation, lighting and evacuation routes.

Scientific research and the experience of international projects demonstrate that the correct use of underground space can significantly increase the efficiency of the use of urban areas, contribute to the steady development of cities and improve the quality of life of their residents. Investments in underground construction are becoming more and more justified in view of the long-term benefits and the need to adapt to the conditions of the modern urban environment.

In general, underground construction is an important direction that has significant potential for development and improvement in the future, responding to the challenges of time and contributing to the development of modern infrastructure.

Keywords. Pit; underground space; drain well; ground anchor; drilling piles; "top-down" technology; strut truss.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2024