

ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ПІДЗЕМНЕ БУДІВНИЦТВО

К. А. Безручко

доктор геологічних наук,

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,
49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2А

Розглянуті основні геологічні, геофізичні та гідрогеологічні фактори, що впливають на підземне будівництво житлових, громадських та промислових об'єктів. Оцінено їхній вплив на вибір місця будівництва, конструктивні особливості та безпеку об'єктів. Запропоновано до наявного переліку трьох типів (I-III) інженерного захисту елементів об'єктів критичної інфраструктури додати тип IV, а саме надглибоку підземну урбанізацію.

Ключові слова: підземне будівництво, геологічні фактори, об'єкти критичної інфраструктури.

ASSESSMENT OF THE GEOLOGICAL FACTORS INFLUENCE ON UNDERGROUND CONSTRUCTION

K. A. Bezruchko

Doctor of Geological Sciences

M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Simferopolska, 2a, Dnipro, 49005, Ukraine

This article examines the primary geological, geophysical, and hydrogeological factors influencing the underground construction of residential, public, and industrial facilities. It assesses their impact on site selection, structural features, and the safety of these facilities. It is proposed to add type IV, namely ultra-deep underground urbanization, to the existing list of three types (I-III) of engineering protection for elements of critical infrastructure facilities.

Keywords: underground construction, geological factors, critical infrastructure facilities.

На сучасному етапі розвитку суспільства підземне будівництво набуває дедалі більшої актуальності через зростання населення, урбанізацію, екологічні виклики та необхідність забезпечення безпеки. Проблема поєднує основні аспекти важливості підземного будівництва, а саме урбанізацію та просторові обмеження, екологічні та енергетичні питання, транспортну інфраструктуру та логістику, безпеку та обороноздатність, будівництво промислових та наукових об'єктів, інноваційні технології.

Отже, підземне будівництво є стратегічним напрямом сталого розвитку міст і промисловості, завдяки сучасним технологіям воно стає доступнішим, ефективнішим та екологічно безпечнішим. Подальший розвиток цієї галузі сприятиме оптимізації простору, енергоефективності та підвищенню рівня захисту об'єктів інфраструктури. Крім того, особливо з огляду на триваючу агресію РФ проти України, підземні та заглиблені споруди відіграють критично

важливу роль у забезпеченні безпеки населення, стратегічних об'єктів та інфраструктури під час військових дій.

Проаналізувавши загалом наявні чинники (геологічні, геофізичні, інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови) можна дійти висновку, що всі ці чинники доцільно розділити, за їхнім впливом, на дві групи – сприятливі для ведення підземного будівництва та негативні (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл головних геологічних чинників за характером впливу

№ з/п	Негативні (несприятливі) чинники	Сприятливі чинники
1.	Низька міцність та стабільність ґрунтів та порід	Висока міцність та стабільність ґрунтів та порід
2.	Гетерогенність геологічного середовища	Однорідність (гомогенність) геологічного середовища
3.	Висока сейсмічна активність	Мінімальна сейсмічна активність
4.	Висока тектонічна дислокованість	Проста тектонічна будова
5.	Високий рівень ґрунтових вод	Низький рівень рівень ґрунтових вод
6.	Високий дебіт водоносних горизонтів	Низький дебіт водоносних горизонтів
7.	Хімічний склад вод – агресивні	Хімічний склад вод – нейтральні
8.	Наявність карстових утворень і зсувних зон	Наявність сприятливих геологічних структур або природних порожнин
9.	Емісія шкідливих газів	Відсутність шкідливих газів
10.	Глибина є одночасно сприятливим і несприятливим чинником	
11.	Вплив на довкілля може бути сприятливим і несприятливим чинником	

Варто зазначити, що залежно від місця будівництва та призначення споруди, ці фактори можуть мати більший або менший вплив.

Принципи геологічного районування території для вибору ділянки підземного будівництва мають базуватися на аналізі природних умов та інших чинників, які можуть впливати на стійкість та безпечність конструкцій. Загалом основні принципи доцільно визначити такими:

1. Тектонічний аналіз – визначення наявності розломів, тріщинуватих зон, зон тектонічної активності та сейсмічних загроз, врахування ризику неотектонічних рухів.
2. Літологічний та стратиграфічний аналіз – оцінка складу та потужності гірських порід, їх фізико-механічних властивостей, визначення наявності нестійких або вивітрених порід.
3. Гідрогеологічні умови – вивчення рівня підземних вод, їх агресивності до матеріалів будівництва, оцінка можливого впливу підземних вод на стабільність споруд.
4. Інженерно-геологічні характеристики – аналіз несучої здатності ґрунтів, визначення можливих деформаційних процесів (осідання, пучинистість, зсуви тощо).

5. Екзогенні геологічні процеси – ідентифікація карстових явищ, обвалів, селевих потоків, оцінка схильності території до зсувів, підтоплень, ерозії.
6. Екологічні та геохімічні чинники – аналіз можливого забруднення підземних вод і ґрунтів, оцінка радіоактивного фону та концентрації газів (радон, метан та ін.).
7. Соціально-економічні аспекти – цільове призначення споруди, наявність інфраструктури для будівництва та експлуатації, відповідність проекту чинним будівельним нормам і правилам.

Наразі в Україні, на основі аналізу наявного досвіду військових дій та можливих засобів повітряного нападу противника і результатів їхніх влучань по основних елементах ОКІ (об'єктів критичної інфраструктури) запропоновані три типи інженерного захисту елементів ОКІ [1,2]:

Тип I – первинний захист споруд від осколкового ураження та від дії вибухової ударної хвилі в разі вибуху на відстані 15 м від елемента. Пропонуються декілька варіантів конструктивного інженерного рішення первинного захисту елементів ОКІ. Для бічного часткового захисту елементів запропоноване використання пірамідоподібних споруджень з фортифікаційних габіонів, у виключному випадку – із бігбегів, мішків, залізобетонних і металевих збірних елементів. Такий тип захисту є частковим, оскільки не захищає елемент ОКІ зверху. Також до першого типу належать посилення і збільшення живучості існуючих конструкцій будівель та споруд чи внутрішнього устаткування шляхом улаштування металевих кожухів, обкладання цеглою, встановлення додаткових опор;

Тип II – укриття типу «шелтер» із зовнішнім захисним решітчастим екраном, який затримує прямі влучання дронів-камікадзе типу баражуючий боєприпас, та внутрішньої захисної оболонки, яка захищає від ударної хвилі та уламків у разі їх вибуху в момент зіткнення з екраном, а також у разі фугасного влучання в землю усіх відомих типів ракет противника на відстані 15 м від елемента. При цьому захист елементів ОКІ завширшки до 20 м пропонується забезпечувати засипкою стін і покрівлі ґрунтом, а захист елементів завширшки понад 20 м – спеціальними плитами покрівлі. Детальніше захисні конструкції даного типу описані у [1];

Тип III – підземна урбанізація ключових елементів ОКІ, покликана захистити від прямого поодинокого влучання в елемент ОКІ всіх відомих типів крилатих та балістичних ракет противника з фугасною чи проникною бойовою частиною.

До наведеного переліку типів інженерного захисту елементів ОКІ пропонується додати Тип IV, а саме: надглибока підземна урбанізація елементів об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ).

Тип IV – Надглибока підземна урбанізація елементів об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) є стратегічно обґрунтованим підходом до забезпечення їхньої довгострокової безпеки та функціональної стійкості. Такий підхід передбачає розміщення елементів ОКІ на значній глибині в стабільних масивах міцних скельних порід, що забезпечує високий рівень захисту від зовнішніх

загроз, включно з кінетичним, сейсмічним, техногенним та військовим впливом. Розташування інфраструктури у важкодоступних гірських умовах робить її практично недосяжною для ураження звичайними засобами.

Планування та реалізація надглибоких підземних об'єктів можуть включати розгалужену систему горизонтальних тунелів для забезпечення виходів на поверхню. Концепція адаптивної інтеграції таких об'єктів із природним і техногенним рельєфом дозволяє підвищити ефективність будівництва та мінімізувати ландшафтні порушення. Зокрема, доцільно передбачити такі варіанти виходів:

1. Використання природного рельєфу місцевості:

Балки, глибокі яри, схили гір і пагорбів можуть бути природними каналами для виведення тунелів на поверхню. Така конфігурація полегшує вентиляцію, евакуацію, доступ технічного персоналу та транспорту. Окрім того, природні елементи рельєфу можуть приховувати вентиляційні шахти, люки обслуговування або комунікаційні портали, підвищуючи маскування об'єктів.

2. Використання техногенного рельєфу:

Колишні промислові кар'єри, відвали порід, техногенні пониження рельєфу можуть бути перетворені на зони виходу тунелів або вентиляційних систем. В деяких випадках можливе вторинне використання кар'єрів для розміщення систем зберігання ресурсів, техніки або резервного енергозабезпечення.

3. Інтеграція з виробленим простором гірничих підприємств:

Існуючі порожнини гірського масиву після відпрацювання корисних копалин можуть бути реконструйовані під об'єкти ОКІ або транспортно-логістичні коридори. Це дозволить значно зменшити витрати на проходку і водночас забезпечує просторову гнучкість для формування мережевої структури підземної урбанізації.

Висновки.

Визначені та проаналізовані геологічні чинники щодо ведення підземного будівництва, як сприятливі, так і негативні. З огляду на ці чинники, визначені загальні принципи геологічного районування територій. Найбільш придатними для підземного будівництва є ділянки простої будови (I-ої категорії складності) за інженерно-геологічними умовами. А саме:

- території з низьким рівнем сейсмічності;
- райони з монолітними міцними скельними породами (гранітами та гнейсами);
- території зі стабільним геологічним середовищем, мінімальним впливом розломних зон та нетріщуватими породами, або породами з низькою тріщинуватістю;
- області зі стабільними гідрогеологічними умовами та низьким рівнем неагресивних підземних вод.

Запропановано до наявного переліку трьох типів (I-III) інженерного захисту елементів ОКІ додати тип IV, а саме надглибоку підземну урбанізацію елементів об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ), які знаходяться на великій

глибині в міцних скельних породах гірського масиву і є недосяжними для ураження.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваль М.В., Коваль В.В., Коцюруба В.І. та ін. Організаційно-технічні засади побудови системи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України. *Наука і оборона*. 2022. №3-4. С. 11–16.
2. Коцюруба В.І., Білик А.С., Веретнов А.О. Методика розрахунків та обґрунтування вимог до інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури від БпЛА типу баражуючий боєприпас. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2022. № 109. С. 164–183.