

УДК 624.21.092

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.74

## ПРИЧИНИ ПОРУШЕННЯ ГЕОТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ ТУНЕЛІВ І МЕТРОПОЛІТЕНІВ

Смолянук Н. В., Більченко А. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Будівництво підземних транспортних розв'язок і метрополітенів у зв'язку зі своєю специфікою та підвищеною складністю нерідко супроводжується виникненням аварійних ситуацій. Аналіз помилок тунелебудування показав, що порушення геотехнологій є серйозною проблемою, а на виникнення аварій впливає комплекс причин, які складно спрогнозувати через їхній тісний взаємозв'язок.*

***Ключові слова:** тунель, метрополітен, аварійні ситуації, будівництво, котлован, геотехнології.*

### Вступ

Різке зростання у великих містах кількості автомобілів призвело до транспортного колапсу, пропускна здатність вулиць виявилася повністю вичерпаною. Унаслідок цього на зріла гостра необхідність інтенсивного розвитку транспортного тунелебудування, зокрема й метробудування.

У багатьох країнах світу будівництво підземних транспортних розв'язок і метробудування посідають особливе місце в різних реалізованих і перспективних програмах розвитку інфраструктури міст. Специфіка будівництва підземних об'єктів, які є складними інженерними спорудами, потребує значних матеріальних і трудових витрат, але тільки таким чином, урахувавши всі нюанси, можливо вирішити складні соціальні завдання в XXI ст.

На сьогодні у високорозвинених країнах усе частіше застосовують автоматизовані тунелі, прохідницькі комплекси, що на сучасному рівні забезпечують у раціональних методах організації робіт високі темпи будівництва, які зумовлені не тільки економічними питаннями, але й технічною безпекою будівельників.

Будівництво тунельних споруд належить до одного з найбільш складних і найбільш дорогих видів будівельних робіт. Це пояснюється обмеженою робочою зоною, виконанням робіт в умовах гірничого та гідростатичного тиску з боку навколишнього ґрунтового масиву, специфікою розробки ґрунту, його тимчасовим і постійним кріпленням. У цих умовах організація будівництва має бути спрямована на злагоджену роботу із дотриманням чіткої технології виконання всіх операцій, дотримання умов охорони праці й техніки безпеки, оскільки врахувати всі відхилення гідрогеологічних умов не завжди вда-

ється й аварії в тунелях є серйозною проблемою. Кожна аварія є неконтрольованою ситуацією та може призвести до тяжких наслідків.

Отже, тунелі й метрополітени належать до першого збільшеного рівня відповідальності споруд, відмова яких може призвести до важких економічних, соціальних та екологічних наслідків і нещасних випадків. Технічні рішення конструкцій, матеріалів і технологічні операції, що застосовуються, мають забезпечувати надійність на період будівництва, а також строк служби тунельних оправ не менше ніж 120 років, їхній міжремонтний строк – 50 років. Тому тунелебудування – це наукоємна, індустріальна галузь, яка використовує сучасні технології, матеріали та техніку, а кожна аварія, яка трапляється в підземних спорудах, потребує ретельного аналізу для подальшого врахування позаштатних ситуацій у проектуванні та будівництві.

### Аналіз публікацій

Як було зазначено вище, у зв'язку з тим, що тунелебудування належить до першого збільшеного рівня відповідальності, воно є одним з найдорожчих видів будівельних робіт. Кожна значна аварія під час будівництва таких споруд у будь-якій країні розслідується спеціальними комісіями.

Аварії будівельних котлованів відбувалися в різні роки в процесі будівництва тунелів у Сінгапурі [1, 2]. 2002 р. у влаштуванні тунелю відкритим способом відбулося випирання лоткової плити, що стало причиною руйнування огорожувальної шпунтової стінки. Подібна аварія сталася 2004 р. у будівництві тунелю поруч із шосе Nicoll Highway. Зруйнувалася сталева розпірна система на довжині 100 м, що спричинило обвалення «стіни в ґрунті».

Важкі аварії, що значно подовжили терміни будівництва тунелів, відбувалися внаслідок обвалення породи в забої. Цій проблемі присвячені роботи провідних тунельників С.Н. Власова, Л.В. Маковського і В.Є. Меркіна [3, 4, 5], де розглядаються аварійні ситуації в будівництві та експлуатації тунелів і метрополітенів. Нештатні ситуації в будівництві об'єктів метрополітенів розглянуті в роботі В.А. Швецова, В.Є. Меркіна [6], де зроблено висновок, що аварії виникають унаслідок того, що геотехнології в будівництві метрополітенів знаходяться не на достатньо високому рівні через те, що не враховується специфіка тунелів та не ведеться науковий супровід на стадіях проектування і будівництва. Особливо актуальним є досвід будівництва підземних споруд у міських умовах [7–9], де розглянуто геотехнічний супровід розвитку міст.

#### Мета і постановка завдання

Метою є пошук причин аварійних ситуацій у будівництві тунелів і метрополітенів для їхнього вивчення й набуття досвіду щодо попередження або недопущення таких ситуацій у майбутньому.

#### Реалізація завдання

Аварії в тунелях, що будуються, є серйозною проблемою. У процесі будівництва можливі раптові обвалення породи в забої, руйнування та деформації кріплення, прориви підземних вод і пливунів, викиди газів, пожежі й вибухи тощо. Кожна аварія є неконтрольованою ситуацією та може призвести до тяжких наслідків [3].

Частота аварій у будівництві тунелів і тяжкість нещасних випадків вища, ніж в інших галузях будівництва, що обумовлено специфікою підземних робіт. Щорічно з 10 тисяч тих, хто працює на будівництві тунелів, постраждалими в аварійних ситуаціях стають близько 200 осіб, тобто 2% від загальної кількості будівельників. В останні роки спостерігається деяке зниження кількості нещасних випадків, однак, незважаючи на значний прогрес тунелебудування, сучасна техніка ще не має у своєму розпорядженні абсолютно безпечних способів будівництва тунелів, методів і засобів прогнозування можливих аварій, обумовлених численними й різноманітними факторами, зокрема стихійними, які можуть проявлятися несподівано.

За ступенем нанесення збитків і розмірами руйнувань усі аварії можна умовно поді-

ляти на великі й місцеві. До великих належать аварії, що охоплюють всю тунельну споруду й призводять до припинення її функціонування на тривалий час. Великі аварії, як правило, пов'язані з травматизмом і загибеллю людей. Місцеві аварії тягнуть за собою руйнування тунелю тільки на обмеженій ділянці, а наслідки їх можуть бути швидко ліквідовані.

Найбільш часто в будівництві тунелів відбуваються такі аварії [1, 3]:

- обвалення породи в забої або в котловані;
- руйнування й надмірні деформації тимчасового та постійного кріплення;
- затоплення виробки або котловану водою та пливуном.

Ці ситуації можуть виникнути внаслідок:

- недооцінки величин навантажень, що передаються на огороження котловану, з причини використання неадекватної моделі ґрунту;

- недостатньої надійності тимчасових кріплень запроєктованих вузлів з'єднання розпірок і обв'язувальних поясів та нездатності розпірної системи перерозподілити зусилля під час їхнього руйнування.

Крім перелічених, аварійні ситуації можуть бути пов'язані з раптовою поломкою тунелепрохідницького обладнання (щитів, тунелепрохідницьких машин, бурових агрегатів), зіткненням або сходом із рейок вагонеток і електровозів, падінням будівельної техніки в котловани або шахти, пошкодженням спеціальних допоміжних споруд і пристроїв (опалубків, стійок, ферм, домкратів тощо), пошкодженням тимчасових інженерних комунікацій (водопроводу, електрокабелів, трубопроводів стисненого повітря) й устаткування (компресорів, вентиляторів, насосів), що знаходяться в споруджуваному тунелі. І якщо в наземному будівництві це є проблемою, то в будівництві тунелів це подвійна проблема.

Досвід будівництва безпосередньо метрополітенів свідчить про те, що нештатні аварійні ситуації виникають унаслідок впливу несприятливих природних факторів під землею та на її поверхні, технічних неполадок у процесі проходки тунелів, людського чинника, що виражається в порушенні геотехнологій проходки в складних інженерно-геологічних умовах (у влаштуванні збійок, водовідливних, вентиляційних установок та інших об'єктів) [3, 6]. Треба зазначити, що тунелі можуть бути мілкою й глибокою закладення. Технологічно вони відрізняються,

але аварії в обох випадках пов'язані з водою та ґрунтом (породою).

За спостереженнями, на практиці найпоширеніші аварії як в тунелях, які будуються, так і в тунелях, що експлуатуються, пов'язані з обваленням породи, тобто непередбаченого зрушення ґрунту з відділенням від масиву частини ґрунту. Обвалення відбувається через ослаблення сил зчеплення між окремими частинами масиву, який зі стану спокою переходить у стан руху (третій і четвертий закони причинності явищ). Обвалення може бути викликано примусовим впливом на масиви (механічним, гідравлічним або дією несприятливих умов); відносно довготривалим впливом на масив або його частину природних факторів, таких як вода, температура; порушенням прийнятої технології виконання робіт; короточасним впливом раптових викидів ґрунту або порід, газу. Обвалення ґрунту може відбуватися у вигляді сповзання його окремих мас, обмежених площинами ковзання. Залежно від тяжкості аварії та об'єму ґрунту, що надійшов у котлован, може спостерігатися повне або часткове заповнення котловану ґрунтом. У першому випадку, як правило, відбувається руйнування основної захисної конструкції (рис. 1, а), у другому спостерігаються локальні вивали ґрунту в котлован між палями огорожувальної конструкції, що супроводжуються пошкодженням або руйнуванням заборки на ділянках певної довжини (рис. 1, б).

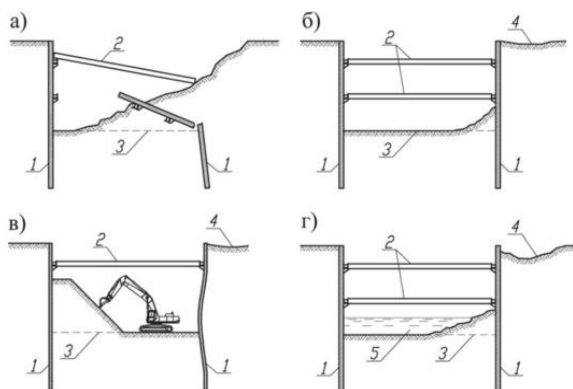


Рис. 1. Аварійні ситуації у будівництві тунелів відкритим способом: а – руйнування захисної конструкції; б – локальний вивал ґрунту в котлован; в – надмірні деформації захисної конструкції; г – прорив ґрунтових вод у котлован із виносом ґрунту; 1 – захисна конструкція; 2 – розстріли; 3 – дно котловану; 4 – опади поверхні землі; 5 – ґрунтова вода

Бувають випадки, коли захисна конструкція отримує надмірні деформації без обвалення ґрунту в котлован, що супроводжуються утворенням осадок поверхні землі біля котловану (рис. 1, в). Такі деформації притаманні огорожувальним конструкціям, виконаним із суцільного сталевго шпунта, за умови значного тиску ґрунтових вод.

Обвалення породи, як правило, викликають руйнування або надмірні деформації тимчасового або постійного кріплення, під час яких порушується стійкість тунельної виробки, кріплення не може виконувати свої основні функції. Може статися випирання лоткової ґрунтоцементної плити, яке може спричинити висмикування проміжних стійок, вигин розпірок і катастрофічне зміщення огорожувальних шпунтових стін усередину котловану (рис. 2).

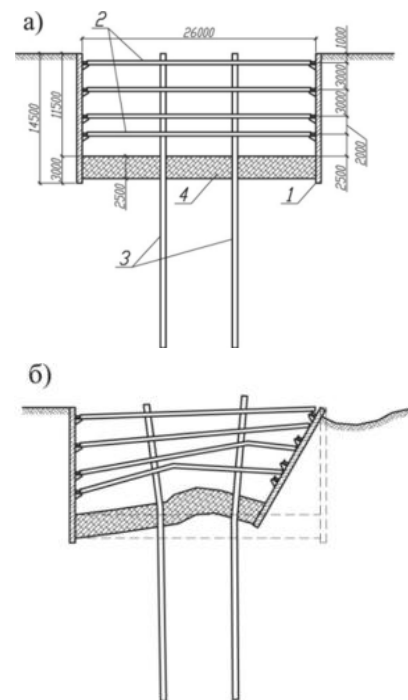


Рис. 2. Руйнування огорожувальних конструкцій: 1 – огорожувальна конструкція; 2 – розстріли; 3 – проміжні паля; 4 – лоткова ґрунтоцементна плита

У влаштуванні котлованів у слабких водонасичених ґрунтах без додаткових заходів щодо захисту від ґрунтових вод можуть спостерігатися інтенсивні течі або прориви води під тиском через огорожувальні конструкції, що призводить до повного або часткового затоплення котловану. Найбільш небезпечні водопріпливи з одночасним виносом ґрунту в котлован (рис. 3). У таких випадках велика небезпека осадів поверхні землі поб-

лизу котловану, пошкодження фундаментів будівель і особливо підземних комунікацій, пов'язаних із водою.

Прикладом може бути аварія під час влаштування котловану завглибшки 20 м для будівництва 73-поверхової будівлі Інфініті Тауер в Дубаї, яка трапилася в квітні 2007 р. [10]. Ділянка будівництва була розташована на морському узбережжі та примикала до Дубайської еспланади завширшки приблизно 30 м, яка відділяє її від проходу в гавань.



Рис. 3. Аварія під час влаштування котловану в Дубаї

У процесі розкриття котловану були виявлені дефекти в бетоні шпунтового огороження та просочування води в котлован, тампонування тріщин і торкретування поверхні стінки не привели до запланованого ефекту. Виниклі локальні протікання в шпунтовій стінці ліквідувати не вдалося, відбулося збільшення наявних дефектів у стінці, і як результат, збільшення гідродинамічного напору, розмив ґрунту і місцеве обвалення шпунтової огорожі.

Аварія сталася, коли розробка котловану наближалася до завершення. У огороженні, виконаному у вигляді «стіни в ґрунті», що примикає до еспланади, утворилася течя на висоті близько 3 м від дна котловану. Будівельниками були помічені деформації стіни й поява в ній тріщин, негайно була віддана команда евакуювати персонал із котловану. Через 2 хв після початку евакуації сталося обвалення ділянки стіни з боку еспланади і води Перської затоки хлинули в котлован, який був повністю затоплений протягом 4 хв (рис. 3).

Варто звернути увагу на те, що кріплення «стіни в ґрунті» на прямолінійних ділянках котловану з боку суші було виконано за допомогою розпірок. Кріплення напівкруглої

стіни з боку еспланади передбачалося анкерним. Анкери, імовірно, послужили концентраторами та сприяли фільтрації води в котлован.

Улаштування анкерного кріплення огорожень котлованів в обмежених міських умовах може бути пов'язане з різними ризиками. Корінь анкерів може розташовуватися за межами ділянки забудови в інших ґрунтових умовах, ніж припускав проектувальник. Не досить добре опресовані оголовки анкерів можуть бути джерелами фільтрації підземних вод крізь «стіну в ґрунті». Улаштування анкерів під фундаментами поруч розташованих будівель може викликати їхнє додаткове осідання. Тимчасові анкери мають обмежений термін служби. Відомі випадки, коли в силу різних форс-мажорних обставин будівництво окремих об'єктів заморожувалося на тривалий час на стадії, у якій котлован з анкерним кріпленням залишався відкритим, анкери з часом відпускалися та кріплення отримувало значні деформації. Також відомі випадки, коли огороження котлованів з анкерним кріпленням отримують досить значні переміщення й за відсутності зниження зусиль в анкерах. Особливо це явище властиве для огорож, що мають багаторушне кріплення й значну глибину занурення, а також для котлованів із великими розмірами в плані.

У вітчизняній практиці метробудування 28 січня 2006 р. сталася аварія, яка за деякими даними є найбільшою за всю історію будівництва метро в Києві: несподівано обвалилося огороження котловану майбутньої станції метрополітену «Деміївська» та стався викид ґрунту в котлован [11]. Одночасно туди ж звалився кран, який був розташований над місцем аварії (рис. 4).

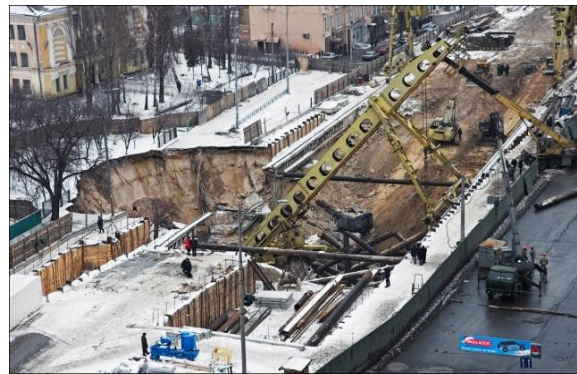


Рис. 4. Руйнування котловану в Києві

В офіційних причинах події вказувалося на збіг низки техногенних і природних фак-

торів: скупчення ґрунтових вод і води з дірявого водопроводу, а також вплив на них тривалих і сильних морозів, що спровокувало промерзання ґрунту більш ніж на метр углиб масиву, його розширення і, як наслідок, руйнування стіни. Незважаючи на масштаби, аварія вплинула лише на незначну ділянку робіт і будівництво не зупинилося.

Як висновок, можна зазначити, що порушення геотехнологій будівельних робіт у влаштуванні котлованів під станції та перегінні тунелі метрополітенів, а також недотримання проекту й порушення встановленої послідовності виконання робіт є прямими причинами багатьох аварій, які трапилися в різних країнах. Уникнути цього може допомогти залучення до робіт тільки кваліфікованих підрядників у співпраці з геотехнологами, а також виконання на будівельному майданчику регулярного технічного нагляду замовником і авторського нагляду проектувальником.

За умов глибини закладення тунелю близько 20–30 м у неускладнених інженерно-геологічних умовах проявляється розвантажувальна дія склепіння в ґрунті, але в разі порушення цих умов (наприклад, у випадку водопритоку) розвантажувальний ефект зникає та відбувається обвалення породи. За наявності зон скидів та інших тектонічних порушень обвалення відбуваються або безпосередньо в цій зоні, або на границі з іншими формаціями. У процесі проходки ґрунт прагне осідати вниз і переміщатися уздовж тунелю в бік порталу. Під час перетину обвалу за наявності попереду більш щільного масиву, зміщення породи вперед стає неможливим і виникають умови для утворення вивалу. Часті вивали спостерігають в призабійній зоні на відстані до 50 м від забою, де зникає підтримувальний вплив породного масиву, що знаходиться попереду забою.

У випадках відставання з будівництвом оправи обвалення породи може мати місце безпосередньо в площині переднього торця оправи. У цьому разі порушується міцність породи, яка знаходиться попереду, унаслідок скупчення ґрунтових вод, що можуть проникати в ґрунт з поверхні внаслідок злив і танення снігу. Причинами обвалення породи можуть бути також зниження рівня ґрунтових вод і вилучення із забою валунів і великих кам'янистих включень.

За умов глибокого закладення тунелю склепіння вивалу («купол») залежно від властивостей і характеру нашарування порід

може перебувати в різному ступені стабілізації. Найбільш небезпечна нестійка стабілізація вивалу, коли в процесі його подальшого розвитку можуть відбуватися обвалення великих мас породи. Така форма нестійкої рівноваги найчастіше можлива в м'яких і слабостійких породах.

У будівництві тунелів закритими способами (гірським, щитовим, продавлюванням) обвалення породи відбувається найчастіше внаслідок вивалу в забої або в безпосередній близькості від нього.

Незалежно від виду аварій усі вони призводять до подовження термінів будівництва тунелю, до необхідності ремонту, що вимагає додаткових капітальних витрат. Варто враховувати й несприятливі екологічні наслідки аварій у споруджуваних тунелях, які проявляються в порушенні стійкості ґрунтового масиву, просіданні денної поверхні, пошкодженнях наземних будівель та інженерних комунікацій, загазованості й задимленості повітряного басейну, підвищенні рівня шуму й вібрації на прилеглий до тунелю території.

Обвалення породи в забої під час проходки тунелів із застосуванням технології нового австрійського тунельного методу (НАТМ) у багатьох випадках були обумовлені неправильною оцінкою напружено-деформованого стану породного масиву. Так, у Південній Америці під час проходки найбільшого гідротехнічного тунелю завдовжки близько 80 км у стійкому масиві не були вчасно виявлені великі горизонтальні напруження. Було застосоване полегшене тимчасове кріплення з короткими скельними анкерами. Таке кріплення, яке в деяких випадках ще й зводиться на великій відстані від забою, не могло стабілізувати нестійку рівновагу породного масиву, порушеного розробкою, що й призвело до обвалення породи з частковим руйнуванням тимчасового кріплення й навіть постійної оправи (рис. 5).

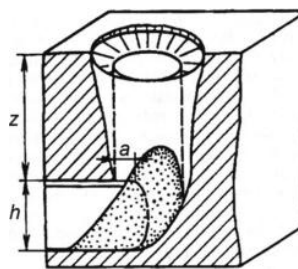


Рис. 5. Воронка вивалу в забої тунелю:  $a$  – відстань від забою до краю воронки;  $h$  – висота виробки;  $z$  – висота воронки

Для забезпечення стабілізації масиву знадобилося потужніше й жорсткіше кріплення з використанням сталевих арок і довших анкерів, які встановлювали вже поблизу забою, а також зменшення величини заходки.

У процесі проходки в Австрії Мессенберзького тунелю діаметром 16 м роботи вели заходками по 15 м із кріпленням контуру виробки набризкбетоном, арками й анкерами [7, 8]. На одній із ділянок після розкриття виробки відбулося обвалення породи з повним руйнуванням кріплення (рис. 6). Вивчення причин аварії показало, що сили, які діють на п'яту зводу кріплення, викликали в товщі породи руйнування від вертикальних зрушень. Щоб уникнути подальші обвалення породи було рекомендовано зменшити величину заходки в колотті. Згідно з принципами новоавстрійського методу, відразу в забої замкнуте кріплення має набагато більшу несучу здатність, ніж незамкнуте. Тому вчасне зведення зворотного склепіння перешкоджає випиранню породи й скорочує загальний час стабілізації масиву.

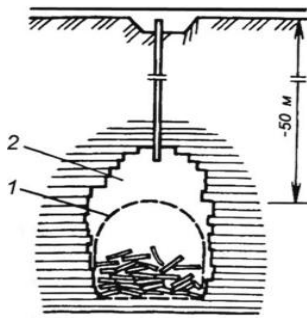


Рис. 6. Обвалення породи з руйнуванням набризкбетонного кріплення: 1 – контур виробки; 2 – купол вивалу

Усе перелічене – факти або наслідки, а що ж є причиною? На нашу думку, насамперед ці нештатні ситуації виникають унаслідок поганої співпраці геотехніків, які розраховують взаємодію конструкцій із ґрунтом, і технологів-конструкторів, які розраховують параметри конструктивних елементів. Ці ситуації виникають унаслідок порушення закону взаємодії причинності явищ у природному середовищі. Крім того, у геологічному середовищі ґрунтів і породи існує закон купності, який у будівництві тунелів можна використати в такій інтерпретації:

- за умови самоущільнення збільшується енергетичний потенціал речовини;

- зовнішні впливи змінюють ритм розміщення речовини й перевлаштування за новим ритмом;

- у багатофазних системах самовизначення речовини супроводжується його розшаруванням на окремі фази, одна з яких є розущільнення.

У практиці тунелебудування часто завдяки діяльності людини дуже важко вирішити вимогу закону купності, тому виникають неадекватні моделі ґрунту, які не підлягають геотехнологіям, унаслідок виникають аварії. Отже, причини, що викликають аварійні ситуації, можуть виникати на будь-якому з етапів їхнього створення, починаючи з інженерно-геологічних вишукувань і закінчуючи процесом експлуатації. Аналіз комплексу причин, які найбільш часто призводять до аварій у будівництві тунелів і глибоких котлованів, дозволяє виокремити 3-поміж них великі групи, а саме:

- помилки та прорахунки у виконанні інженерно-геологічних та інших видів вишукувань, особливо за умови щільної забудови міст;

- помилки в проектуванні, які можуть допускати як геотехніки, які аналізують взаємодію конструкцій із ґрунтовим масивом, так і конструктори, які визначають параметри конструктивних елементів;

- неякісне виконання робіт, недотримання в будівництві проектних параметрів, використання матеріалів і технологій, що не відповідають проекту;

- порушення ПОБ, недотримання проектно-послідовності виконання робіт;

- помилки в управлінні проектом, відсутність належного контролю якості, недостатній моніторинг, погана взаємодія з проектувальником у процесі будівництва, недотримання термінів будівництва;

- неправильна експлуатація.

На причини аварій у будівництві тунелів і метрополітенів іноді накладаються форс-мажорні обставини, пов'язані з впливами, непередбачуваними будівельними нормами й правилами, природного й техногенного характеру.

Крім форс-мажорних обставин, які не можуть бути заздалегідь передбачені та піддані аналізу, інші причини виникнення аварійних ситуацій пов'язані з людським фактором, тобто мають суб'єктивний характер. Помилки людини можуть бути обумовлені такими обставинами:

- браком інформації або її неправильною інтерпретацією;
- відсутністю достатнього досвіду й необхідної кваліфікації;
- незадовільною організацією трудового процесу;
- бажанням заощадити кошти й час;
- необхідністю виконання своїх обов'язків в умовах дефіциту часу;
- відсутністю апробованих методик аналізу;
- відсутністю критичного підходу й песимістичних оцінок;
- небажанням обговорювати дискусійні питання, недостатньою публічністю.

До серйозних аварій котлованів метрополітенів приводить зазвичай комплекс причин, які пов'язані одна з одною і впливають одна на одну. Так, недоліки інженерно-геологічних вишукувань неминуче спричиняють помилки в проектуванні, а помилки в управлінні проектами завжди призводять до зниження якості робіт. Усе це може призвести до зупинки будівництва тунелю та метрополітену, перепроєктуванню без урахування наявних конструктивних рішень, що може спричинити аварійну ситуацію. Отже, у природних явищах беруть участь декілька факторів, які можна записати як  $x = f(a, b, c, \dots, k)$ , тобто виникає недиференційована функція, що передбачає застосування теорії ймовірності.

### Висновки

1. У будівництві тунелів і метрополітенів необхідно чітко виявити причину кожного природного явища, що призвело до аварії. Щоб виключити перевитрати коштів та часу, необхідно знайти основну характеристику, яка відповідає тільки цій ділянці тунелю з поправкою на побічні ефекти.
2. У багатофазних системах характеристика ґрунту супроводжується його розшаруванням на окремі фази, одна з яких розущільнення ґрунту, тобто втрата отриманих у спадщину зчеплень під впливом якихось факторів. Це змінює величини навантажень, що передаються на огороження котловану або на тимчасове кріплення тунелю. Унаслідок виникає неадекватна модель ґрунту, яку дуже важко оцінити в часі.
3. Удосконалення геотехнологій у будівництві тунелів і метрополітенів, особливо в містах із щільною забудовою, де дуже активно впливає діяльність людини, украй необхідне. Лише налагодивши чітку співпрацю геотехніків, які розраховують взаємодію

конструкції з ґрунтовим середовищем, і технологів-конструкторів, які розраховують параметри конструктивних елементів, можна передбачити аварійні ситуації в підземному будівництві та уникнути їхніх наслідків.

### Література

1. Колыбин И.В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях. Развитие городов и геотехническое строительство. № 12. Санкт-Петербург: Гео-реконструкция-Фундаментпроект, 2008. С. 9–124.
2. Brandl H. The collapse of a deep excavation pit in urban surroundings. Proc. of the 14-th European Conference on SMGE, Madrid, 2007. Vol. 2. P. 545–552.
3. Власов С.Н., Маковский Л.В., Меркин В.Е. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. Москва: ТИМП, 2000. 197 с.
4. Меркин В.Е. Скоростное восстановление строящихся тоннелей при нештатных ситуациях. Транспортное строительство. 2014. № 8. С. 18–22.
5. Нестандартные решения в нештатных ситуациях / В.Е. Меркин и др. Международная научно-практическая конференция «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение»: сборник трудов. Ч. I. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. С. 414–421.
6. Нештатные ситуации при строительстве объектов метрополитена. Причины и ликвидация последствий / В.А. Швецов и др. Наукосведение, сентябрь-октябрь 2014. Вып. 5 (24) URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/32KO514.pdf> (дата звернення: 26.04.2021).
7. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов: практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки. Санкт-Петербург: Стройиздат Северо-Запад, Георекострукция, 2010. С. 41–51.
8. Югов А.М., Новиков Н.С. Анализ аварийных ситуаций при возведении подземных частей зданий. Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. «Вісник» ДНАСА, 2014. № 6. С. 27–33.
9. Седин В.Л., Грабовец О.Н., Трященко А.Ю. О причинах аварий в глубоких котлованах. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения. 2016. Вып. 90. С. 171–175. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc\\_2016\\_90\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc_2016_90_27) (дата звернення: 26.04.2021).
10. Chang-Yu Ou. Deep excavations. Theory and practice. London: Taylor & Francis, 2006. 551 p.

11. Станція «Деміївська» URL: [http://mirmetro.net/kyiv/cruise/02/22\\_demijivska](http://mirmetro.net/kyiv/cruise/02/22_demijivska) (дата звернення: 26.04.2021).

### References

- Kolybin I.V. Uroki avarijnyh situacij pri stroitel'stve kotlovanov v gorodskih uslovijah. [Lessons from emergencies during the construction of excavations in urban conditions]. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. [Urban development and geotechnical construction]. No. 12. Sankt-Peterburg: Georekonstruktsiya-Fundamentproekt, 2008. P. 9–124. [in Russian].
- Brandl H. The collapse of a deep excavation pit in urban surroundings. Proc. of the 14-th European Conference on SMGE, Madrid, 2007. Vol. 2. P. 545–552.
- Vlasov S.N., Makovskij L.V., Merkin V.E. Avarijnye situacii pri stroitel'stve i ekspluatatsii transportnyh tonnel'nyh i metropolitenov. [Emergency situations during the construction and operation of transport tunnels and subways]. Moskva: TIMR, 2000, 197 p. [in Russian].
- Merkin V.Ye. Skorostnoye vosstanovleniye stroyashchikhsya tonneley pri neshtatnykh situatsiyakh. [High-speed restoration of tunnels under construction in emergency situations]. *Nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyy zhurnal «Transportnoye stroitel'stvo»*. No. 8. 2014. P. 18–22. [in Russian].
- Merkin V.Ye., Piskunov A.A., Kharchenko I.YA., Khokhlov I.N., Khoteyev Ye.A., Ustinov D.V. Nestandartnyye resheniya v neshtatnykh situatsiyakh. [Non-standard solutions in emergency situations]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennyye geotekhnologii v stroitel'stve i ikh nauchno-tekhnicheskoye soprovozhdeniye»*. [International scientific-practical conference «Modern geotechnologies in construction and their scientific and technical support»]. *Sbornik trudov, Chast' I Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet*. Sankt-Peterburg, 2014. P. 414–421. [in Russian].
- Shvetsov V.A., Merkin V.Ye., Piskunov A.A., Petropavlovskikh O.K., Lashkov M.V. Neshtatnyye situatsii pri stroitel'stve ob'yektov metropolitena. Prichiny i likvidatsiya posledstviy. [Abnormal situations during the construction of metro facilities. Causes and elimination of consequences]. *Nauovedeniye, sentyabr-oktyabr' 2014.*, Vyp. 5 (24). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/32KO514.pdf> (last accessed: 26.04.2021). [in Russian].
- Ulitskiy V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoye soprovozhdeniye razvitiya gorodov. Prakticheskoye posobiye po proyektirovaniyu zdaniy i podzemnykh sooruzheniy v usloviyakh plotnoy zastroyki. [Geotechnical support for urban development. A practical guide for the design of buildings and underground structures in a densely built environment]. Sankt-Peterburg: Stroyizdat Severo-Zapad, Georekonstruktsiya, 2010. P. 41–51.
- Yugov A.M., Novikov N.S. Analiz avariynykh situatsiy pri vozvedenii podzemnykh chastei zdaniy. [Analysis of emergency situations during the construction of underground parts of buildings]. *Tekhnologiya, organizatsiya, mekhanizatsiya i geodezicheskoye obespecheniye stroitel'stva*. [Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction]. «Vіsnik» DNASA [Donbasskaya natsional'naya akademiya stroitel'stva i arkhitektury], 2014. No. 6. P. 27–33. [in Russian].
- Sedin V.L., Grabovets O.N., Tryashchenko A.YU. O prichinakh avariiv v glubokikh kotlovanakh. [About the causes of accidents in deep pits]. *Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye*. [Building. Materials Science. Mechanical engineering]. *Seriya: Starodubovskiy chteniye*, 2016. Vyp. 90. P. 171–175. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc\\_2016\\_90\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc_2016_90_27) (last accessed: 26.04.2021). [in Russian].
- Chang-Yu Ou. Deep excavations. Theory and practice. London: Taylor & Francis, 2006. 551 p.
- Stantsiya «Demiiyiv'ska». [Demiiivska Station]. URL: [http://mirmetro.net/kyiv/cruise/02/22\\_demijivska](http://mirmetro.net/kyiv/cruise/02/22_demijivska) (last accessed: 26.04.2021) [in Ukrainian].

**Смолянюк Надія Володимирівна<sup>1</sup>**, к.т.н., доц. каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. Російського, e-mail: nadiksm@yahoo.com, тел. +38 050-747-26-04

**Більченко Анатолій Васильович<sup>2</sup>**, к.т.н., проф. каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. Російського, e-mail: kmksm@ukr.net, тел. +38 097-248-07-41

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

### Reasons for violation of geotechnology during the building of tunnels and subways

**Abstract. Problem.** Due to its specificity and increased complexity, the building of underground transport interchanges and subways is often accompanied by the occurrence of emergencies. Each accident requires careful analysis for further consideration of abnormal situations during design and building. **Goal.** The goal is to find causes of emergencies during the building of tunnels and subways for studying them and gaining experience in preventing such situations in the future. **Methodology.** The experience in the building of underground structures shows that abnormal emergencies arise because of the influence of unfavorable natural factors, technical malfunc-



tions and the human factor. The analysis of errors in tunneling showed that the violation of geotechnologies is a serious problem, and the occurrence of accidents is influenced by a set of causes that are difficult to predict due to their close interconnection. **Results.** The use of geotechnologies in underground construction is extremely necessary. Only by establishing cooperation between geotechnicians and design engineers, emergencies can be prevented. **Originality.** In multiphase systems, soil characteristic is accompanied by its stratification into separate phases, one of which is decompaction. This changes the magnitude of the loads that are transferred to the foundation pit fencing or to the temporary fastening of the tunnel. As a result, an inadequate soil model that is very difficult to assess over time arises. **Practical value.** During the building of tunnels and subways, it is necessary

to clearly identify the cause of each phenomenon that has led to the accident, in order to exclude cost and time overspendings.

**Key words:** tunnel, subway, emergencies, building, foundation pit, geotechnology.

**Smolianiuk Nadiia V.**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. Department of bridges, structures and building mechanics named after V.O. Rosiiskyi,  
e-mail: nadiksm@yahoo.com, tel. +380507472604

**Bilchenko Anatoliy V.**<sup>2</sup>, Ph.D., Prof. Department of bridges, structures and building mechanics named after V.O. Rosiiskyi,  
e-mail: kmksm@ukr.net, tel. +380507472604

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

---

---