УДК 624.21.092 DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.98.0.120

ПРИЧИНИ ПОЯВИ ДЕФЕКТІВ КОНСТРУКЦІЙ ТУНЕЛІВ МЕТРОПОЛІТЕНІВ, ЇХ ВПЛИВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ СТАН ТА СПОСОБИ УСУНЕННЯ

Більченко А. В., Смолянюк Н. В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. *Будівництво й експлуатація тунелів і метрополітенів у зв'язку зі специфікою та підвищеною складністю цих споруд нерідко супроводжується виникненням аварійних ситуацій. Дослідження характеру більш поширених дефектів і руйнувань в несучих конструкціях тунелів підтверджують складність прогнозування можливих причин, які призводять до аварійних ситуацій. Крім того, важливим етапом для підвищення строків експлуатації метрополітенів є своєчасне застосування та раціональний підбір способів усунення дефектів.*

Ключові слова: *тунель, метрополітен, оправа, дефекти і руйнування, усунення дефектів, ремонтні роботи.*

Вступ

Тунелі метрополітенів належать до першого підвищеного рівня відповідальності споруд, у яких дефекти і руйнування можуть призвести до важких економічних і соціальних наслідків.

Найбільш важливим завданням у галузі будівництва та експлуатації тунелів метрополітенів є вирішення питання оцінки їх технічного стану в цілому і конструктивних елементів окремо. Мається на увазі оцінка надійності та довговічності, ступеня втрати несучої здатності, а також можливості і умов роботи конструкцій протягом заданого терміну експлуатації при мінімальній вартості робіт щодо їх утримання.

Залежно від експлуатаційної придатності споруди та конструктивних елементів у процесі експлуатації необхідно звернути увагу на такі три показники стану споруди:

1. відсутність дефектів і пошкоджень, які б могли сприяти зниженню несучої здатності і довговічності;
2. споруда або її окремі конструктивні елементи відповідають бездефектному стану, але мають деякі пошкодження, які при подальшому розвитку можуть знизити її експлуатаційний стан;
3. споруда непридатна для нормальної експлуатації в цілому без прийняття першочергових заходів щодо посилення несучої здатності аварійних елементів та ліквідації дефектів, які призвели до цього, а також зниження впливу факторів, що сприяють подальшому розвитку руйнування конструкцій.

Своєчасне виявлення, об'єктивна оцінка процесу їх розвитку в часі й усунення пошкоджень і дефектів конструкцій підземних споруд є запорукою успішної довгострокової експлуатації. На жаль, часто споруди приймаються в експлуатацію з прихованими дефектами, переростають в подальшому у несправності, які знижують несучу здатність, довговічність і експлуатаційну придатність. Крім того, в умовах великих міст відбуваються різні процеси, найчастіше приховані від осіб, які здійснюють нагляд і періодичні огляди: це несанкціоновані будівельні роботи з прокладання міських комунікацій у технічних зонах метрополітену; невідповідність або відсутність захисних пристроїв міських комунікацій при перетині ліній метрополітену мілкого закладення, поганий стан труб і каналів та ін. Також у практиці здійснення нагляду за спорудами метрополітену немає чіткої системи, точних засобів діагностики і вказівок із визначення реального стану споруд.

Аналіз публікацій

Технічні і технологічні рішення конструкцій, матеріалів, які застосовуються у будівництві, мають забезпечити надійність і довговічність елементів тунелів метрополітенів не менше ніж на 120 років і міжремонтний період у 50 років. Тому виникнення дефектів, які виникають в підземних спорудах, потребує ретельного аналізу для подальшого врахування в позаштатних ситуаціях у проєктуванні та в будівництві. Дуже важливим питанням є оцінка технічного стану конструктивних елементів тунелів метрополітенів. Ці питання розглядались у роботах [1-6], де звертається увага, що дефекти в елементах тунелів мають свої особливості, які пов'язані зі специфікою їх роботи в замкнутому середовищі

при контакті конструкція-ґрунт. Тому інженерно-геологічні умови і їх можлива зміна відіграють велику роль. У зв'язку з такими умовами виникають ситуації недооцінки величин навантажень, що передаються на тунельні оправи. Досвід експлуатації метрополітенів [7, 8, 9] свідчить про те, що дефекти виникають у наслідок впливу несприятливих природних факторів під землею та на її поверхні, людського чинника, що виражається в порушенні геотехнологій, порушенні регламентів матеріалів і технологічного процесу їх влаштування. При влаштуванні тунелів метрополітенів у слабких водонасичених ґрунтах без додаткових заходів щодо захисту від ґрунтових вод можуть спостерігатись інтенсивні протікання по стиках і тріщинах [7, 9, 10, 11]. Отже, причини, які викликають виникнення дефектів, можуть бути на будь-якому етапі їх створення, починаючи з інженерно-геологічних вишукувань і закінчуючи процесом експлуатації.

Мета та постановка задачі

Метою є пошук причин виникнення дефектів та руйнувань елементів тунелів метрополітенів у процесі експлуатації, будівництва для їх аналізу і набуття досвіду щодо їх попередження і методів їх ліквідації.

Реалізація задачі

Причини виникнення дефектів у підземних конструкціях можна розділити на: об'єктивні (які підлягають прогнозам і врахуванню) і суб'єктивні на таких стадіях, як проєктування, будівництво, експлуатація. До об'єктивних належать: вплив навколишнього середовища (прогнозується при проєктуванні, виявляється при будівництві та експлуатації); вплив нового будівництва в зоні розташування метрополітену (прогнозується і виявляється при експлуатації); виробничі фактори та технологічні навантаження (прогнозуються і виявляються при проектуванні); природне старіння будівельних конструкцій та елементів (прогнозується при проєктуванні, виявляється і оцінюється при експлуатації); відсутність нормативної бази, яка регламентує ведення експлуатації.

Більш детально до причин виникнення дефектів на стадії проєктування можна віднести: недоліки в проведенні вишукувальних робіт та вивченні інженерно-геологічних умов району будівництва; помилки у визначенні розрахункових схем, навантажень, параметрів будівельних конструкцій та виборі матеріалів; відсутність необхідного наукового потенціалу і методик досліджень, у тому числі з метою прогнозування роботи конструкції в часі; проєктування відповідальних конструкцій з відсутністю пошуку кількох конкурентоспроможних варіантів; несвоєчасна видача рішень, авторських записів і погоджень в період будівництва; необ'єктивність прогнозу поведінки конструкцій і оцінки негативних впливів у процесі будівництва і в період експлуатації; відсутність чітких програм з моніторингу в періоди будівництва і експлуатації, в тому числі за конструкціями, недоступними візуальним оглядам; відсутність до моменту введення об'єкта комплекту документації, що регламентує потреби з нагляду і утримання.

До суб'єктивних причин відноситься діяльність людини:

- на стадії будівництва: неефективна система управління виробництвом, недотримання законів і принципів управління, необґрунтоване прийняття рішень щодо термінів та коригування технології будівництва; відсутність моніторингу на всіх стадіях зведення конструкцій; ведення робіт в умовах нестабільного фінансування, проведення робіт з відхиленнями від проєкту на стадії будівельно-монтажних робіт; відсутність належного інспекторського та авторського нагляду і контролю за виконанням робіт; виникнення надзвичайних ситуацій та аварій при зведенні будівельних конструкцій і їх елементів; наявність значної кількості немеханізованих операцій, великого обсягу ручної праці і відсутність кваліфікованого персоналу;
- на стадії експлуатації: неякісне приймання об'єкта в експлуатацію, в тому числі відсутність комплекту виконавчої документації; відсутність системи, яка регламентує утримання об'єкта або недоліки в його організації і проведенні; відсутність моніторингу або його неефективне коригування за результатами початкового періоду експлуатації; несвоєчасне вжиття заходів з відновлення працездатності конструкцій та елементів; невжиття заходів щодо зниження негативної дії виробничих факторів і технологічних навантажень; порушення правил експлуатації об'єкта, невиконання рекомендацій за результатами обстежень та моніторингу; відсутність фінансування на проведення робіт з ремонту і реконструкції об'єкта; орієнтація системи нагляду на візуальне спостереження і недостатній інструментальний контроль. При вияв-

ленні дефектів тунельних оправ найбільш важливими показниками є характер дефектів та їх питома вага.

Найбільш поширеним і відкритим для наочного виявлення дефектом є тріщини різного походження, що перевищують допустимі норми величини розкриття в розтягнутих зонах і роздроблення бетону в стиснутих зонах (рис. 1). Розрізняють тріщини технологічного походження, що виникають при вилученні блоків з опалубних форм, транспортуванні, складуванні і монтажі, а також тріщини і розкриття стиків у процесі експлуатації.

Характер розташування тріщин у несучих конструкціях різний залежно від типу тунельної споруди. Так, для колекторних тунелів поздовжні тріщини зосереджені в основному в склепінній частин і перерізу і свідчать про недостатню міцність оправи, поперечні – відносяться до технологічних швів вторинної оправи, які мають сильну тенденцію до руйнування у зв'язку з їх зниженою щільністю. Питома вага поздовжніх тріщин становить 1,36%, поперечних – 0,47%. Розташування поперечних тріщин у зоні технологічних швів характерно для більшості підземних споруд.

а)

б)

Рис. 1. Тріщини, відколи, вибоїни, порушення захисного шару конструкцій тунельних оправ, зведених з: а – монолітного бетону, б – високоточних залізобетонних блоків

У тунелях метрополітену й інших транспортних тунелях поздовжні тріщини в основному розташовані в місцях з'єднання колійного бетону та блоків кілець оправи, торцях шпал, кутах дренажного лотка, місцях примикання споруд. Поперечні тріщини розташовуються біля основи дренажного лотка, в місцях об'єднання суміжних виробок і підземної споруди, в шляховому бетоні на рівні торців шпал і в площині стику стінового блоку.

Довжина поздовжніх тріщин досягає декількох метрів, їх розкриття – від 0 до 6 ÷ 7 мм. Поперечні тріщини мають обмежену довжину і розкриття до 7 мм.

Косо-діагональні тріщини виникають в спинках і ребрах залізобетонних блоків і чавунних тюбінгів і є результатом невідповідності показників міцності матеріалу оправ тиску, що розвивається домкратами прохідницького щита. Те ж походження найчастіше мають окремі відколи стиків, кутів й інші подібні дефекти. Найбільш небезпечними, що свідчать про перенапруження і великі деформації конструкцій, є горизонтальні тріщини, відколи бетону поблизу горизонтальних стиків і руйнування або викришування заповнення стиків, які виникли в процесі експлуатації і продовжують розвиватися.

Окрім тріщин, найбільш поширеним дефектом, який зустрічається в тунельних оправах, є протікання води та різні пошкодження від впливу агресивних середовищ.

Небезпеку становить корозійне руйнування бетону з утворенням шару іржі, що супроводжується зменшенням перерізу арматури і порушенням її зчеплення з бетоном. Ознаками корозійного руйнування залізобетону, крім утворення іржавих плям, є наявність на поверхні дрібної сітки тріщин, відшарування захисного шару бетону, утворення сталактитів в місцях протікання, розпушення

бетону (рис. 2). Свищі – домінуючий вид течій, це наскрізні отвори, діаметр яких коливається від 0,5 до 5 см. Свищі значно впливають на порушення гідроізоляційних властивостей несучих конструкцій підземних споруд і є активними провідниками водо-піщаної суміші.

а) б)

Рис. 2. Протікання і просочування води крізь оправу тунелю з: а – монолітного бетону, б – високоточних залізобетонних блоків

При експлуатації комунальних споруд крізь свищі в середньому в місяць намивається до 5 ÷ 10 кг піску на 1 м тунелю, що призводить до утворення великих порожнин за оправою, величина яких може досягати більше 3 ÷ 7 м. Від 60 до 90 % свищів зосереджено в місцях розташування технологічних швів. Близько 40 ÷ 50 % притоків потрапляє в підземну споруду через розущільнені стики між блоками (тюбінгами). Окрім течій, через свищі відбувається слабка фільтрація води крізь тіло блоків (рис. 3), яка проявляється у вигляді мокрих плям. Тріщини і свищі є активними провідниками незв'язного ґрунту в підземну споруду: крізь тріщини виноситься понад 60 % незв'язного ґрунту, крізь свищі – близько 40 %.

Основні місця зосередження фільтрації води в підземних спорудах глибокого закладення – на бічних частинах оправ, рідше – в склепінні, і зовсім рідко – по лотковій частині; в підземних спорудах мілкого закладення – трохи вище лоткової частини, у перекритті і по перекриттю. Фільтрація часто має сезонний характер, крім того, може мимоволі зменшуватися або припинятися зовсім. Іноді після зникнення в одному місці, вода з'являється в іншому; таке явище виникає в основному в монолітних бетонних і залізобетонних оправах та пояснюється самоущільненням бетонного каменю.

Дефекти корозійного характеру конструкцій оправ споруд метрополітенів і транспортних тунелів, зведених з монолітного та збірного залізобетону, можуть бути викликані впливом на них не тільки води, але і таких агресивних середовищ, як вуглекислий газ, повітря, хімічні речовини, грибки та ін. Звернемо увагу на дефект, що виникає внаслідок некомпетентної діяльності людини в межах експлуатації підземних комунікацій або непередбачених природних явищ.

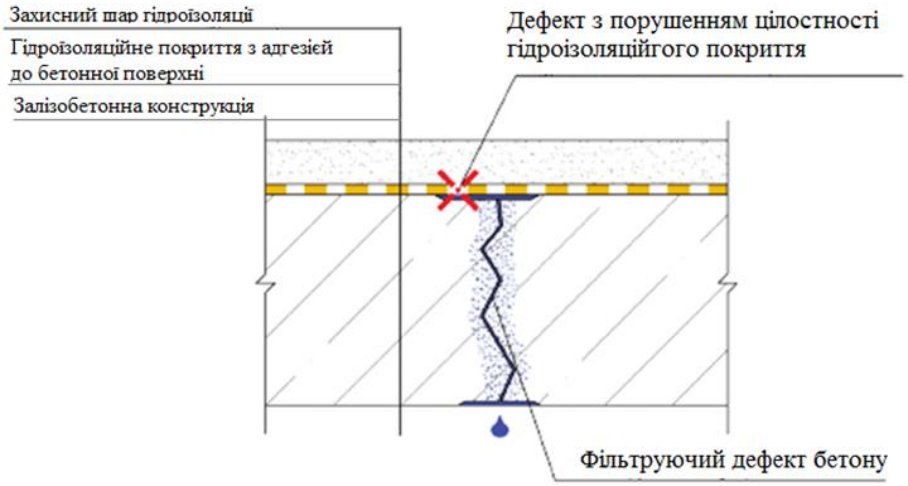

Рис. 3. Дефекти гідроізоляційного покриття з просочуванням води крізь дефекти бетону

Осідання лотка підземної споруди або тунельної оправи в цілому в основному відбувається в місцях винесення ґрунту. Утворені під лотком підземної споруди порожнини порушують статичний режим роботи оправи і призводять до осідання. Збільшення осадок згодом призводить до наростаючого розтріскування лоткової частини тунелю, руйнування і відшарування від оправи колійного бетону в тунелях метрополітенів, зміни положення колії в плані і профілі.

Осідання лотка підземної споруди або тунельної оправи в цілому в основному відбувається в місцях винесення ґрунту. Утворені під лотком підземної споруди порожнини порушують статичний режим роботи оправи і приводять до осідання. Збільшення осадок згодом призводить до наростаючого розтріскування лоткової частини тунелю, руйнування і відшарування від оправи колійного бетону в тунелях метрополітенів, зміни положення колії в плані і профілі.

Еліптичність спостерігається в кільцевих залізобетонних або чавунних оправах. Відповідно до ДБН В.2.3-7-2010 [13] максимальне відхилення діаметра тунельної оправи від проєктного не повинно перевищувати ± 50 мм, однак на практиці відхилення значніші.

Основним завданням при ремонті підземних споруд, і тунелів метрополітенів зокрема, є підвищення водонепроникності збірних та монолітних бетонних і залізобетонних оправ. Кращі результати при вирішенні цього завдання дає комплекс заходів, який передбачає: ліквідацію зосереджених течій; гідроізоляцію стиків збірних оправ; ущільнення зазору між оправою і породою (створення за оправою середовища «геокомпозит»); ущільнення кладки оправи омонолічуванням тріщинувато-пористих об'ємів; відновлення місць кладки оправ.

Останнім часом при реконструкції об'єктів, для підвищення експлуатаційного ресурсу і збільшення надійності конструкцій впроваджуються нові методики і матеріали. Одним із найбільш технологічно ефективних рішень при ліквідації дефектів герметизації деформаційних і технологічних швів, наскрізної фільтрації вологи, а також відновлення та зміцнення конструкцій є ін'єктування бетону.

Найбільш перспективними напрямками в технології ін'єктування є полімерні і геополімерні композиції на основі: поліуретанових і епоксидних смол, мікроцементів, акрилатних гелів.

Ін'єкційні матеріали на полімерній основі підпорядковуються вимогам європейського стандарту EN 1504 [12].

Головним напрямком будь-яких матеріалів для даного виду робіт є гідроізоляція і відновлення міцності споруд [7, 10, 12].

Найпоширенішим видом робіт з підвищення водонепроникності збірних і монолітних бетонних та залізобетонних оправ підземних споруд є ущільнення зазору між оправою і породою. Це технологічний процес заповнення пустот поблизу зовнішнього боку оправи, що включає просочування оправи та оточуючих її порід твердіючими ін'єкційними матеріалами та зв'язування цих порід під впливом тиску розчинів, які нагнітаються. Таким чином утворюється спеціальне середовище – «геокомпозит».

На рис. 4 представлений шар «геокомпозиту», який являється гідроізоляцією та укріпленням та служить додатковою, пов'язаною з конструкцією і породою, оболонкою навколо зовнішньої сторони оправи із заданими механічними і гідроізолюючими властивостями.

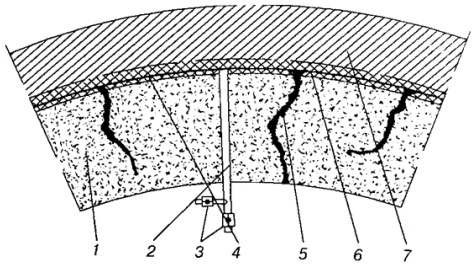

Рис. 4. Ущільнення зазору між оправою і породою: 1 – монолітна бетонна оправа; 2 – ін'єктор; 3 – канали для ін'єктування композицій; 4 – ущільнений зазор; 5 – тріщини і розущільнення, які омонолічуються; 6 – «геокомпозіт»; 7 – порода

Найбільш відповідають всім вимогам, що пред'являються до ін'єкційних розчинів для ущільнення зазору між оправою і навколишньою породою, полімерні композиції на основі поліуретанових смол, які полімеризуються у вологому середовищі, забезпечують високу адгезію з породою і оправою, а розширюючись при затвердінні, забезпечують максимальний ступінь ущільнення і заповнення дрібних порожнин і пустот.

При порушенні герметичності внутрішньої гідроізоляції, ущільнення зазору виконується між залізобетонної сорочкою і внутрішньою гідроізоляцією оброблення. Величину зазору визначають за допомогою ультразвукових приладів,

визначаючи при цьому межі зазору і приховані дефекти в бетоні сорочки.

Залежно від величини розкриття тріщини в оправі ліквідують заповненням їх цементним розчином, цементним «молоком» на епоксидній смолі або полімерними сумішами. Поверхневі тріщини глибиною до 50 мм після обробки затирають або заповнюють за допомогою шпателів і терок. Тріщини глибиною більше 50 мм герметизують за допомогою ін'єкторів глибинного типу – пакерів.

Відновлення поверхневого шару бетонної оправи за ступенем складності роботи підрозділяють на дві групи: ремонт відшарувань глибиною до 100 мм і глибиною руйнування бетону понад 100 мм. При відновленні оправи в місцях відшарувань бетону глибиною до 100 мм основні операції включають оборку оправи до оголення міцного шару бетону, буріння шпурів діаметром 10 ÷ 12 мм глибиною 100 ÷ 150 мм і установку в них металевих анкерів у шаховому порядку по сітці 200х500 мм, очищення поверхні (продування, промивання водою або слабким розчином соляної кислоти), закріплення на анкерах арматурної сітки з осередками, що забезпечують вільний пропуск розчину, який буде наноситися, але не більше 100х100 мм (рис. 5). Завершуються роботи нанесенням на підготовлену поверхню розчину на основі цементу високої марки і піску (у співвідношенні 1: 1).

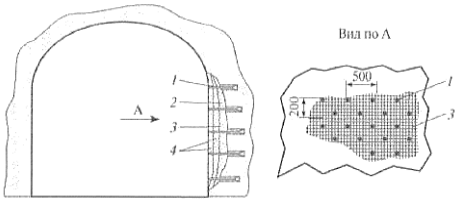

Рис. 5. Схема відновлення поверхневого шару бетону оправи: 1 – шпури з анкерами; 2 – вирівнюючий шар бетону; 3 – металева сітка 100 × 100 мм; 4 – шари бетону

При виникненні вивалу в тунелі оцінюють тяжкість його наслідків. Якщо вивал не наскрізний (не на всю товщину оправи та деформації оправи відсутні), то його ліквідують, виконуючи роботи в такій послідовності: виконують оборку поверхні оголення, забурюють шпури і встановлюють анкери для кріплення арматурної сітки при глибині вивалу до 150 мм або арматурного каркаса при глибині понад 150 мм. Бетонування порожнини вивалу залежно від його обсягу виконують методом накидання, набризки або укладання бетону за опалубку. Опалубка може бути з дошок, набраних на дерев'яних кружалах, або із сталевих листів. Опалубку кріплять на оправі в місці бетонування за допомогою анкерів. У разі наскрізного вивалу (на всю товщину оправи і більше), контур вивалу допрацьовують по нормалі до внутрішньої поверхні оправи, закріплюють на анкерах арматурний каркас і споруджують опалубку з розкріпленням на підтримуючі кружала. В опалубці встановлюють патрубки для подачі бетонної суміші. Після набору міцності бетону за оправу нагнітають цементно-піщаний розчин.

При експлуатації тунелів з оправою зі збірних чавунних або залізобетонних тюбінгів основну увагу необхідно приділяти заповненню чеканочних канавок, отворів для нагнітання розчину за оправу, монтажних отворів і стану болтових з'єднань. В залізобетонній оправі слід своєчасно закладати тріщини і відколи, відновлювати захисний шар арматури, виключати фактори, що зумовлюють її корозію. При значному напорі ґрунтових вод карбування швів чавунної тюбінгової оправи попередньо виконують освинцьованим шнуром з наступним заповненням карбувальної канавки безусадочною сухою сумішшю. Болтові з'єднання вимагають періодичної перетяжки із заміною в разі необхідності комплекту з'єднання. Деформовані тюбінги необхідно замінювати монолітними залізобетонними вставками, виконаними за окремими проєктами.

Висновки

Аналіз причин виникнення руйнувань і пошкоджень показав:

- при будівництві тунелів і метрополітенів необхідно чітко виявити причину кожного природного явища, яке призвело до руйнування елементів тунелю на даній ділянці;
- виникнення помилок в інженерно-геологічних вишукуваннях в умовах щільної забудови міст, які тягнуть за собою помилки геотехніків при проєктуванні та будівництві;
- порушення технології виконання робіт, використання матеріалів, що не відповідають регламентам і проєкту, а також недотримання послідовності виконання робіт;
- відсутність належного контролю якості виконання робіт, погана взаємодія із проєктувальниками та замовником;
- неналежна і непрофесійна експлуатація;
- неконтрольована людська діяльність над конструкціями тунелів метрополітенів.

Література

1. Самедов А.М., Кравець В.Г. Будівництво міських підземних споруд: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 400 с.

2. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах): навч. посіб. Частина 1. Київ: НТУ, 2006. 166 с.
3. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах): навч. посібник. Частина 2. Київ: НТУ, 2009. 216 с.
4. Маковский Л.В. Городские подземные транспортные сооружения: учеб. пособие. М.: Стройиздат, 1985. 439 с.
5. Петренко, В. И., Петренко В. Д,. Тютькін О. Л. Станції метрополітену: конструкції та спорудження: навчальний посібник. Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2012. 164 с.
6. Лысиков Б.А., Розенвассер Г.Р., Шаталов В. Ф. Строительство метрополитена и подземных сооружений на подрабатываемых территориях. Донецк: Норд–Пресс, 2003. 303 с.
7. Безбабічева О. І. Овчінніков І. А. Фактори ризику при виборі ефективних технологій та матеріалів для гідроізоляційного захисту елементів тунелів та метрополітенів. *Наукові вісті Далівського університету*. 2017. № 12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2017_12_3 (дата звернення: 10.11.2022).
8. Фролов Ю.С., Гурский В.А., Молчанов В.С. Содержание и реконструкция тоннелей. М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 300 с.
9. Синякин А.Г., Панченко А.В. Современные системы, материалы и технологии Sika для выполнения разнообразных гидроизоляционных работ. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2012. Вип.45. С.125–131.
10. Петренко В.И. Петренко В. Д,. Тютькин О. Л. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. 252 с.
11. Гарбер В.А. Метрополитены мира, тенденции развития и обеспечение эксплуатационной безопасности. Научные труды ОАО ЦНИИС. 2011. Вып. 260. С.26-46.
12. EN 1504 Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity (Part's: 1-10) 2005. URL: https://www.arconsupplies.co.uk/pdfs/Nano%20%20Euro%20Std%20EN%201504.pdf (дата звернення: 10.11.2022).
13. ДБН В.2.3-7-2003. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Метрополітени. Держбуд України. Київ: Держбуд Україна, 2003.

References

1. Samedov A.M., Kravets′ V.H..Budivnytstvo mis′kykh pidzemnykh sporud: [Construction of urban underground structures].Navch. posib. K.: NTUU «KPI», 2011. 400 p. [in Ukrainian].
2. Ayvazov, YU. M. Proektuvannya metropoliteniv [Designing subways] (u 3-kh chastynakh). Navchal′nyy posibnyk. Chastyna 1. Kyyiv: NTU, 2006. 166 p. [in Ukrainian].
3. Ayvazov, YU. M. Proektuvannya metropoliteniv [Designing subways] (u 3-kh chastynakh). Navchal′nyy posibnyk. Chastyna 2. Kyyiv: NTU, 2006. 166 p. [in Ukrainian].
4. Makovskiy L.V. Gorodskiye podzemnyye transportnyye sooruzheniya [Urban underground transport facilities]: Ucheb. posobiye. M.: Stroyizdat, 1985. 439 p. [in russian].
5. Petrenko, V. Y., Petrenko V. D. Tyut′kin O. L. Stantsiyi metropolitenu: konstruktsiyi ta sporudzhennya [Metro stations: designs and construction]. Navchal′nyy posibnyk. Dnipropetrovs′k: Nova ideolohiya, 2012. 164 p. [in Ukrainian].
6. Lysikov, B. A., Rozenvasser G. R., Shatalov V. F. Stroitel'stvo metropolitena i podzemnykh sooruzheniy na podrabatyvayemykh territoriyakh [onstruction of the subway and underground structures in undermined territories.]. Donetsk: Nord–Press, 2003. 303 p. [in russian].
7. Bezbabicheva O. I. Ovchinnikov I. A. Faktory ryzyku pry vybori efektyvnykh tekhnolohiy ta materialiv dlya hidroizolyatsiynoho zakhystu elementiv tuneliv ta metropoliteniv [Risk factors when choosing effective technologies and materials for waterproofing protection of elements of tunnels and subways]. Naukovi visti Dalivs′koho universytetu. 2017. № 12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2017_12_3 (Last accessed: 10.11.2022) [in Ukrainian].
8. Frolov YU.S., Gurskiy V.A., Molchanov V.S. Soderzhaniye i rekonstruktsiya tonneley [Maintenance and reconstruction of tunnels]. M.: FGOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 2011. 300 p. [in russian].
9. Sinyakin A.G., Panchenko A.V. Sovremennyye sistemy, materialy i tekhnologii Sika dlya vypolneniya raznoobraznykh gidroizolyatsionnykh rabot. [Sika's advanced systems, materials and technologies for a wide range of waterproofing applications.]. Budível'ní materíali, virobi ta sanítarna tekhníka. 2012. Vip.45. H.125–131 [in Ukrainian].
10. Petrenko V.I. Petrenko V. D,. Tyut'kin O. L. Sovremennyye tekhnologii stroitel'stva metropolitenov vUkraine. Dnípropetrovs'k: Nauka í osvíta, 2005. 252 p. [in russian].
11. Garber V.A. Metropoliteny mira, tendentsii razvitiya i obespecheniye ekspluatatsionnoy bezopasnosti [Subways of the world, development trends and ensuring operational safety]. Nauchnyye trudy OAO TSNIIS. 2011. Vyp. № 260. H.26-46.
12. EN 1504 Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity (Part's: 1-10) 2005. URL https://www.ar-

consup-plies.co.uk/pdfs/Nano%20%20Euro%20Std%20EN%201504.pdf (Last accessed: 10.11.2022)
13. DBN V.2.3-7-2003. Derzhavni budivel′ni normy Ukrayiny. Sporudy transportu. Metropoliteny [tate building regulations of Ukraine. Transport facilities. Metropolitans]. Derzhbud Ukrayiny. K.: Derzhbud Ukrayina, 2003. [in Ukrainian].

Більченко Анатолій Васильович[1], к.т.н., проф. каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. Російського, e-mail: kmksm@ukr.net,
тел. +38 097-248-07-41,
Смолянюк Надія Володимирівна[2], к.т.н., доц. каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. Російського, e-mail: nadiksm@yahoo.com,
тел. +38 050-747-26-04,
[1]Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Causes of defects in subway tunnels, their influence on the operational condition and remedy methods

Abstract. Problem. *The most important task in the field of construction and operation of subway tunnels is to solve the issue of assessing their technical condition. Timely detection, objective assessment of the development process of damage and defects of underground structures and their timely elimination are the key to successful long-term operation.* ***Goal.*** *The goal is to find the causes of defects and destruction of elements of subway tunnels in the process of operation and construction for their analysis and gaining experience in their prevention and methods of their elimination.* ***Methodology.*** *The experience of operating subways shows that destructive processes often occur in underground structures, which are not immediately visible during supervision. Therefore, the real condition of the building is revealed already in emergency conditions. To prevent this, it is necessary to clearly understand the nature and causes of damage at an early stage and eliminate them in a timely manner* ***Results.*** *Considering geotechnological processes and the human factor in the process of construction and operation of underground structures is of great importance in modern conditions.* ***Originality.*** *Studies of the nature of more common defects and destructions in the load-bearing structures of tunnels confirm the difficulty of predicting the possible causes that lead to emergency situations.* ***Practical value.*** *During the construction and operation of tunnels and subways, it is necessary to take into account hidden processes that occur in underground structures.*

Key words: *tunnel, subway, frame, defects and destruction, elimination of defects, repair works.*

Bilchenko Anatoliy V.[1], Ph.D., Prof. Department of bridges, structures and building mechanics named after V.O. Rosiiskyi,
e-mail: kmksm@ukr.net, tel. +380507472604,
Smolianiuk Nadiia V.[2], Ph.D., Assoc. Prof. Department of bridges, structures and building mechanics named after V.O. Rosiiskyi,
e-mail: nadiksm@yahoo.com, tel. +380507472604,
[1]Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.