

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.42-044.923/477-25

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, О. Л. ТЮТЬКІН², Є. Ю. КУЛАЖЕНКО³, В. І. ПЕТРЕНКО⁴

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, ел. пошта jaksson777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

⁴ Публічне акціонерне товариство «Київметробуд», вул. Прорізна, 8, Київ, Україна, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, ел. пошта petrenko@metrobud.kiev.ua

МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ ОПРАВИ СИРЕЦЬКО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛІНІЇ КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Мета. В статті досліджено деформації в часі водонасиченої основи суцільно-секційної оправи перегінних тунелів Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену з метою з'ясування їх причин та запропоновання заходів щодо їх зменшення. **Методика.** Для досягнення поставленої мети, авторами було проведено прив'язку до інженерно-геологічного розрізу осідань оправи, які отримані за результатами моніторингу протягом 8 років. Маркшейдерська зйомка проводилася нівелюванням з прив'язками до пікетів траси. Проаналізовано інженерно-геологічні умови залягання декількох проблемних ділянок Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену. Розроблено заходи зменшення деформацій основи. **Результати.** Після аналізу моніторингових даних, з'ясовано, що осідання основи частіш усього проходить рівномірно, без різкої зміни величини деформацій. Отримано максимальні значення деформацій водонасиченої основи із прив'язкою до геологічного розрізу. Відповідність характерної інтенсивності збільшення деформацій при зміні інженерно-геологічних умов підтверджує вірність прив'язки результатів вимірів до реальних умов. Побудовані графіки закономірностей деформацій у часі від метропоїзду. **Наукова новизна.** Встановлені закономірності деформування під дією метропоїзду різноманітних ґрунтів, у тому числі водонасичених. Прив'язка до існуючих інженерно-геологічних умов та висока ступінь достовірності апроксимації свідчить про їх функціональний характер. **Практична значимість.** Розроблено заходи щодо зменшення деформацій водонасиченої основи шляхом розробки нових прийомів будівництва перегінних тунелів із суцільно-секційною оправою, а також технологій підготовки водонасиченої основи.

Ключові слова: метрополітен; перегінний тунель; моніторинг; суцільно-секційна оправа; деформація

Вступ

Спорудження ліній Київського метрополітену постійно потребує наукового супроводу, оскільки при будівництві наявні складні інженерно-геологічні умови навіть у випадку мілкового закладення, що характеризується невеликим тиском оточуючого масиву [1]. Існування таких інженерно-геологічних умов призводить до ряду негативних явищ [2, 3], які виникають вже в період експлуатації і можуть бути зменшені лише при капітальному ремонті або реконструкції, що є майже неможливим при наявних перевезеннях Київського метрополітену.

Закриття навіть на короткий час декількох перегонів призведе до значних ускладнень в транспортній системі міста, тому слід заздалегідь розробляти заходи щодо зменшення негативних проявів оточуючого породного масиву, основним з яких, без сумнівів, є віброповзучість та інші види деформування оточуючого масиву та основи перегінних тунелів та станцій, пов'язаних із збільшенням деформацій під дією метропоїзду [4-8], причому водонасичений пісок має тенденцію до розжиження.

Вказані явища є дуже розповсюдженими для перегінних тунелів із суцільно-секційною оправою, що споруджується відкритим способом на

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Сирецько-Печерській лінії Київського метрополітену. Негативність явищ віброповзучості та загального деформування водонасичених ґрунтів зменшується в процесі експлуатації шляхом зниження швидкості до 50...60 км/год [2]. Однак і така міра, що погіршує нормальну експлуатацію ліній метрополітену, не вирішує проблему деформування водонасичених ґрунтів під дією метропоїзду [6, 8, 12-14].

Мета

Вирішення вказаної проблеми потребує дослідження в часі реальних деформацій водонасиченої основи суцільно-секційної оправи перегінних тунелів Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену з метою з'ясування їх причин. Причому отримані в ході аналізу моніторингових закономірностей деформування під дією метропоїзду різноманітних ґрунтів, у тому числі водонасичених, у прив'язці до існуючих інженерно-геологічних умов Київського метрополітену надають змоги розробки заходів щодо їх зменшення.

Методика

Представлена ділянка лінії Київського метрополітену була побудована в 1992 році та введена в експлуатацію 30 грудня цього ж року. Перегінні тунелі та станції збудовані відкритим способом. Оправою слугує двохочкова суцільно-секційна залізобетонна оправа, довжина секції якої становить 1000 мм, ширина – 9800 мм та висота – 5010 мм.

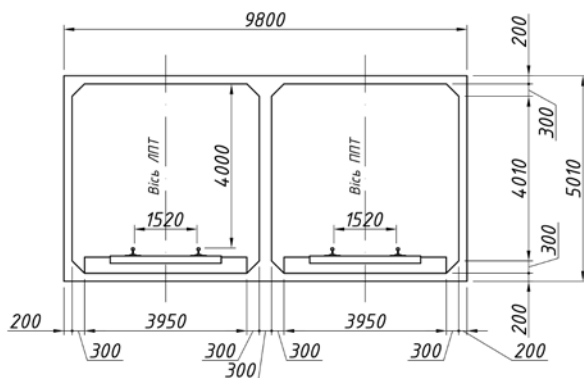


Рис. 1. Конструкція двохочнової суцільно-секційної залізобетонної оправи

Ґрунти основи складені різноманітними осадовими породами, які знаходяться нижче

рівня підземних вод. Розглянута ділянка має довжину 600 метрів і знаходиться в аварійному стані, оскільки за період експлуатації лінії метрополітену відбулися незворотні процеси деформації основи під оправою.

Авторами було проведено прив'язку до інженерно-геологічного розрізу осідань оправи, які отримані за результатами моніторингу протягом 8 років. Маркшейдерська зйомка проводилася за допомогою нівелювання з прив'язками до пікетів траси. Максимальні осідання оправи становлять від 24 мм до 107 мм і спостерігається від ПК180+49 до ПК182+00, а також від ПК182+90 до ПК186+00 з величиною деформацій від 167 мм до 233 мм.

Від ПК179+00 до ПК180+00 основою тунелю складає пісок з прошарком супіску на глибині 2 м від шару піску (рис. 2). Даний ґрунт має потужність від 3,5 до 8,0 м. Від ПК179+00 до ПК179+30 під піском знаходиться шар супіску темно-сірого, мулуватого місцями з залишками рослин та прошарками піску, який в свою чергу опирається на потужний шар пісків темно-зелених, мілких, середньої щільності. Від ПК179+79 до ПК180+49 спостерігається зміна інженерно-геологічних умов (рис. 2). Підшва цільно-секційної обробки опирається на суглинок сірий текучої або текучо-пластичної консистенції.

Далі по трасі перегінного тунелю на ПК180+59 (рис. 3) відбувається перехід основи від сірого суглинку до пісків жовтих та сірих, мілких, водонасичених, середньої щільності. Знову спостерігається характерна зміна величини деформацій відповідно до зміни інженерно-геологічних умов. Причому інтенсивність зміни величини деформацій починаючи з ПК180+59 і далі – стрімко зростає що свідчить про зниження деформаційних та міцнісних характеристики ґрунтів. На ділянці від ПК181+00 до ПК182+00 спостерігається перехід від пісків до супісків темно-сірих, мулуватих з рослинними залишками, текучих (рис. 4). Також в цьому ґрунті спостерігаються прошарки піску та торфові включення.

Пісок виступає в якості основи перегінного тунелю від ПК181+93 до ПК182+90 (рис. 5). На ПК182+93 і далі по ходу траси тунелю основа змінюється шаром водонасиченого піску (рис. 6), який присутній також від ПК180+59 до ПК181+26. Даний ґрунт має значну потужність,

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

що становить більше 15 метрів. Судячи з величини деформацій, фізико-механічні властивості основи дуже низькі.

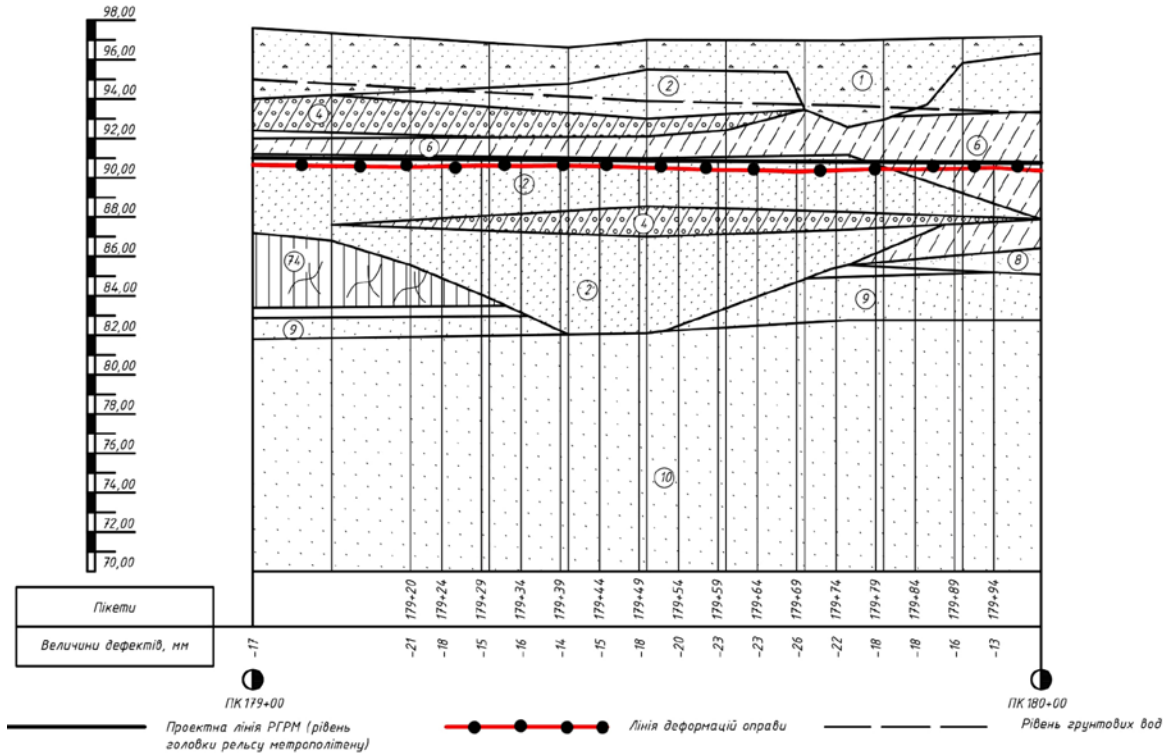


Рис. 2. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК179+00-ПК180+00 та деформації оправи

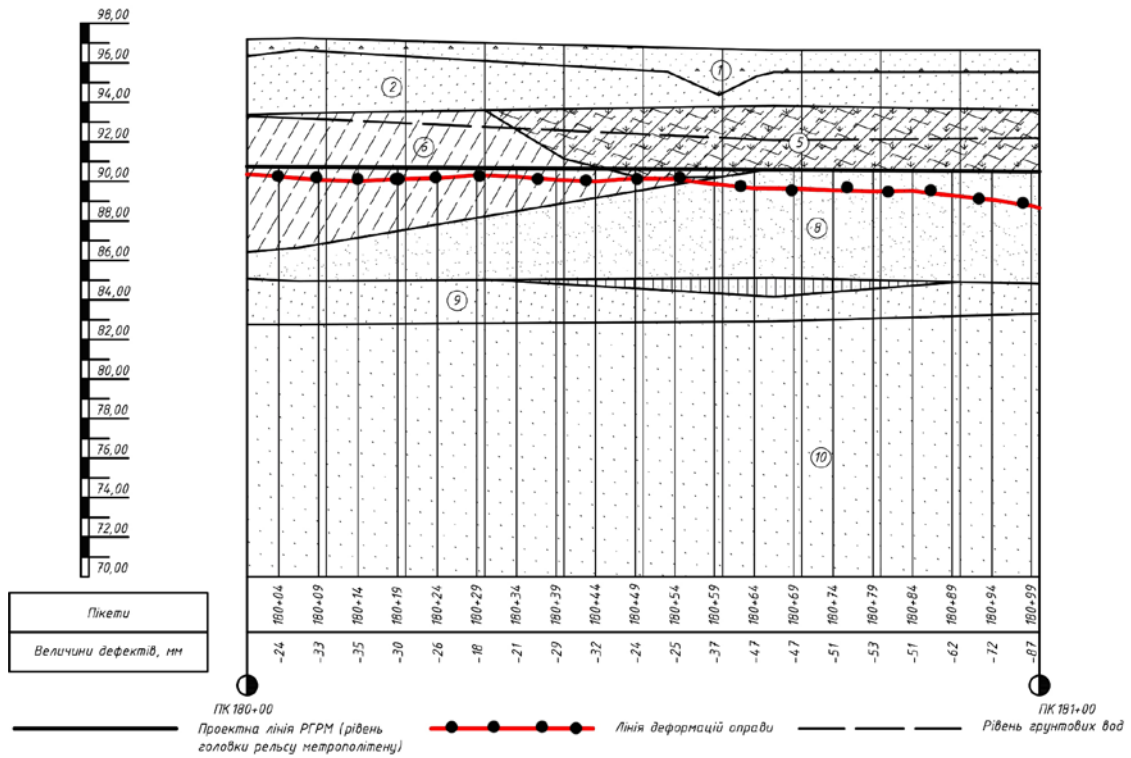


Рис. 3. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК180+00-ПК181+00 та деформації оправи

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

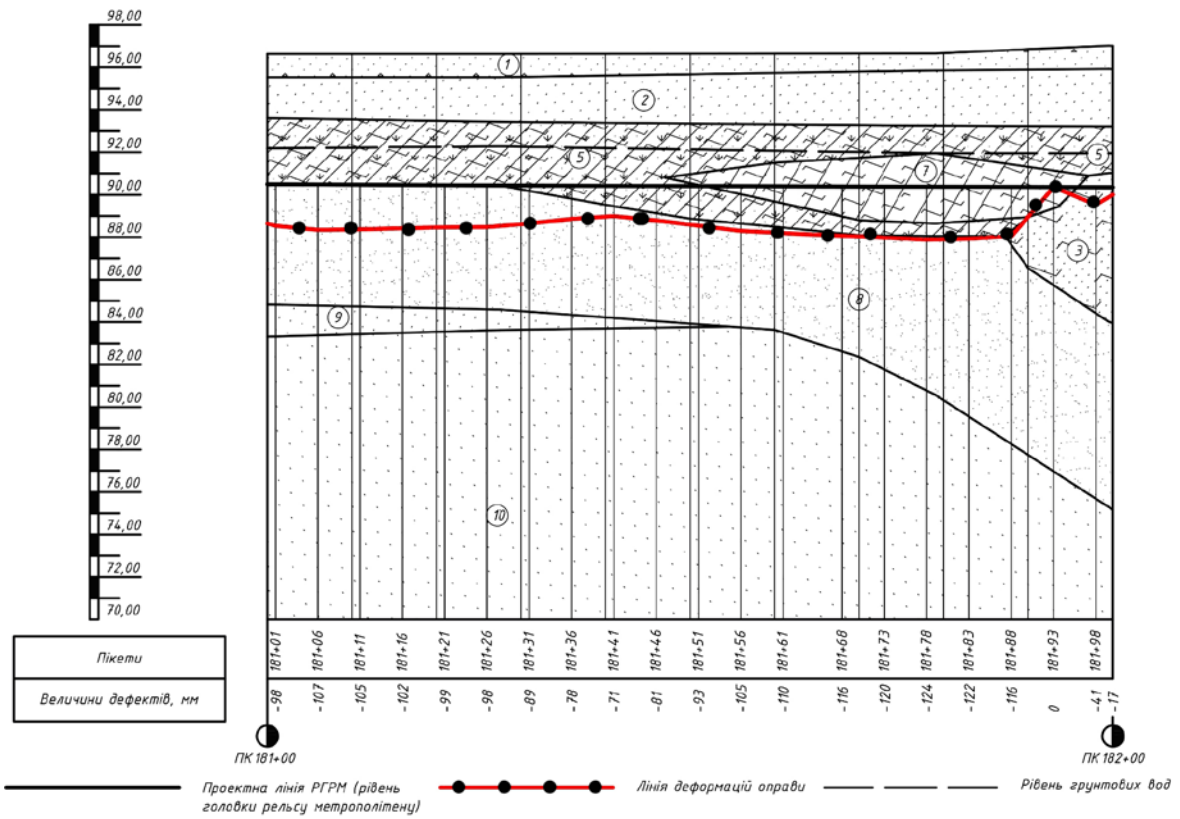


Рис. 4. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК181+00-ПК182+00 та деформації оправи

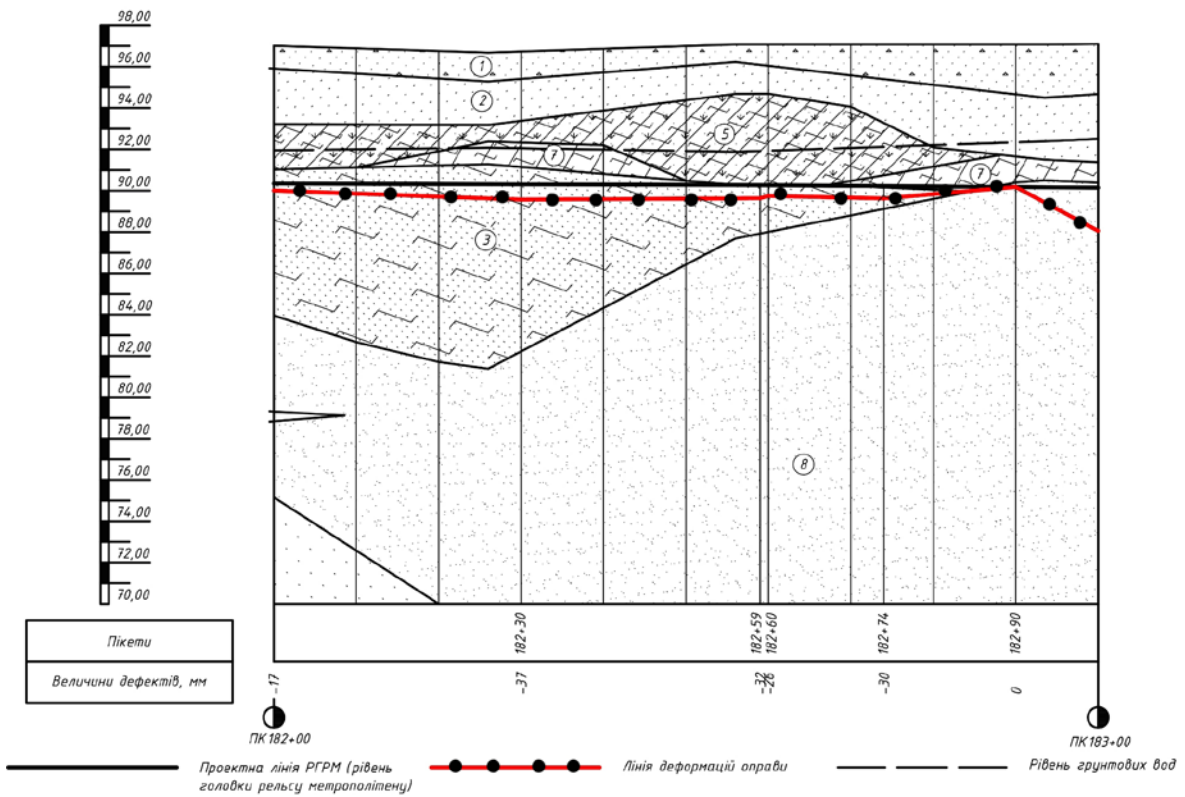


Рис. 5. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК182+00-ПК183+00 та деформації оправи

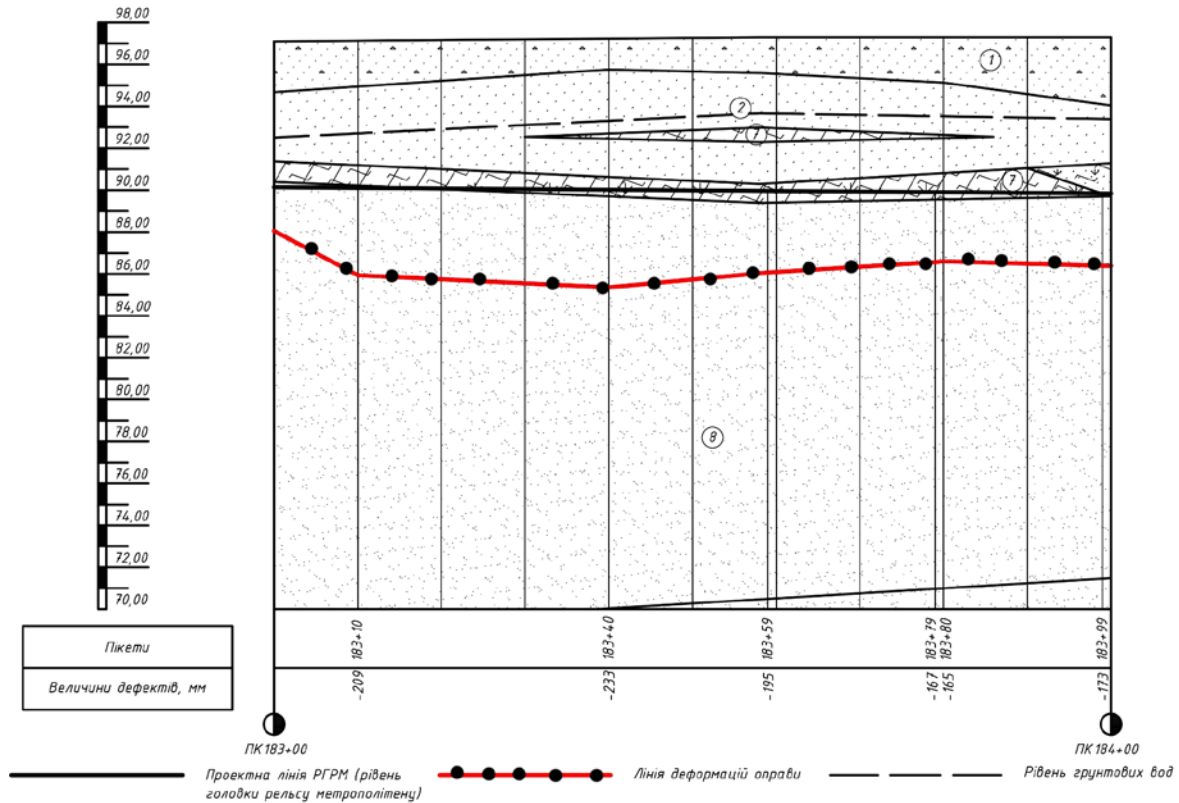


Рис. 6. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК183+00-ПК184+00 та деформації оправи

Результати

Після аналізу моніторингових даних, слід відмітити, що осідання основи частіш усього проходить рівномірно, без різкої зміни величини деформацій. Максимальна вертикальна деформація оправи на першій ділянці становить 26 мм. Моніторинг осідань показує, що осідання мають затухаючий характер (рис. 7).

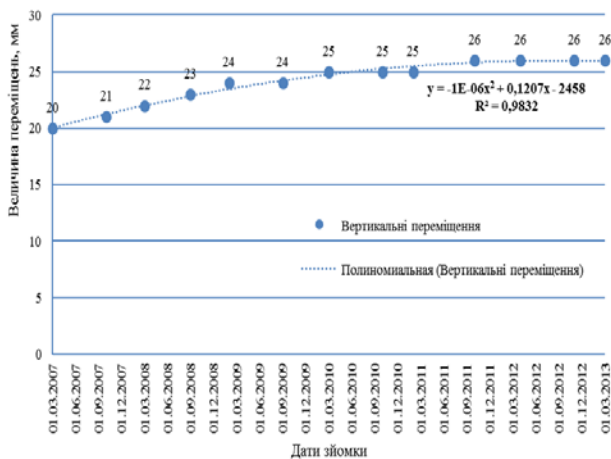


Рис. 7. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК179+69

Максимальні величини деформацій на другій ділянці збільшуються до 35 і більше міліметрів. Відповідність характерної інтенсивності збільшення деформацій при зміні інженерно-геологічних умов підтверджує вірність прив'язки результатів вимірів до реальних умов.

Моніторинг максимального значення деформацій (ПК180+14) показує, що деформації також мають затухаючий характер (рис. 8).

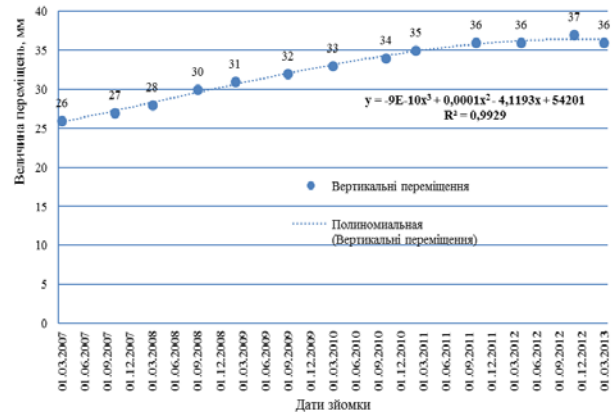


Рис. 8. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК180+14

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Максимальна величина деформації на наступній ділянці становить 107 мм (ПК181+06, рис. 9), причому чітко відображено відповідність величин деформацій до зміни інженерно-геологічних умов. Максимальні переміщення спостерігаються також на ПК181+78 та становлять 122 мм (рис. 9).

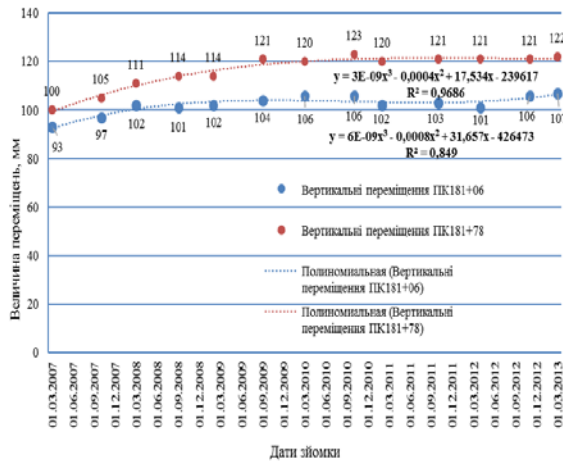


Рис. 9. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК181+06 та ПК181+78

З наведених графіків видно, що деформування основи продовжується, проте вже не з такою інтенсивністю (1...2 мм/рік). Тому для цієї ділянки потрібно проводити заходи щодо стабілізації основи.

Від ПК181+88 до ПК181+93 спостерігається різке зменшення величини деформації до від 116 до 0 мм. Цей стрибок суміщений на профілі з переходом від супіску до піску темно-сірого, мілкого, з включеннями мулу, торфу та залишків рослин.

На ділянці ПК181+93 до ПК182+90 спостерігаються незначні переміщення з максимальним значенням 37 мм на ПК182+30. Вірогідно це безпосередньо є наслідком «армування» шару ґрунту рослинними залишками та торфовими включеннями. При переході на дану основу спостерігається збільшення величини деформацій від 0 мм на ПК182+90 до 209 мм на ПК183+10 та збільшується до 223 мм на ПК183+40. Довжина ділянки перепаду величини деформацій становить 20 м. Цей факт суттєво впливає на якість руху метрополіздів в даному місці.

За даними моніторингу для ПК183+10 та ПК183+40 побудовані графіки розвитку деформацій в часі (рис. 10). З графіку видно, що інтенсивність деформацій на ПК183+10 та ПК183+40 зменшується.

Графіки функцій мають величину достовірності апроксимації R близькою до 1, що дає змогу вважати, що розвиток деформацій в часі можна описати за допомогою поліноміальної функції третьої степені з максимальною достовірністю для даних пунктів спостереження.

Основними заходами із зменшення деформацій основи є наступні:

1) підготовка основи суцільно-секційної оправи при спорудженні лінії відкритим способом (ущільнення основи, заміна водонасиченого ґрунту із малими міцнісними параметрами щебеневою підготовкою, хімічне закріплення);

2) підсилення основи при експлуатації вже існуючої лінії за допомогою способів хімічного закріплення, наприклад, jet grouting [2, 9-11].

В останньому заході укріплення основи суцільно-секційної оправи при спорудженні лінії відкритим способом важливим є розташування свердловин для створення елементів укріплення (рис. 11).



Рис. 10. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК183+10 та ПК183+40

В останньому заході укріплення основи суцільно-секційної оправи при спорудженні лінії відкритим способом важливим є розташування свердловин для створення елементів укріплення (рис. 11).

В останньому заході укріплення основи суцільно-секційної оправи при спорудженні лінії відкритим способом важливим є розташування свердловин для створення елементів укріплення (рис. 11).

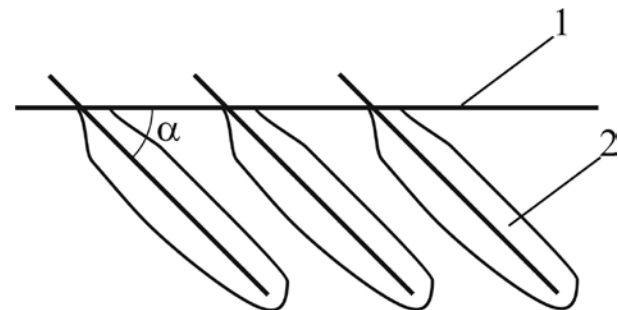


Рис. 11. Розташування елементів укріплення:
1 – ґрунтова основа; 2 – елементи укріплення

Відповідно до способу укріплення в ґрунтову основу під кутом α занурюють елементи укріплення (див. рис. 11), які підсилюють основу більш ефективно, оскільки вони більш інтенсивно укріплюють слабку водонасичену ґрунтову основу під суцільно-секційною оправою [10].

Наукова новизна та практична значимість

В представленій роботі встановлені закономірності деформування різноманітних ґрунтів, у тому числі водонасичених під дією метрополітону. Причому вони позначені науковою новизною, оскільки надають змогу прогнозувати процес деформування тунельних конструкцій у прив'язці до інженерно-геологічних умов Київського метрополітену. Прив'язка до існуючих інженерно-геологічних умов та висока ступінь достовірності апроксимації свідчить про їх функціональний характер. Розроблені заходи щодо зменшення деформацій водонасиченої основи шляхом розробки нових прийомів будівництва перегінних тунелів із суцільно-секційною оправою, а також технології підготовки є ефективними.

Висновки

Розглядаючи інженерно-геологічний розріз по лінії Київського метрополітену можна зазначити, що більшість основ складені мілкими водонасиченими пісками, які змінюють свої деформаційні та структурні характеристики від дії динамічного навантаження.

Проведення даних досліджень дає змогу зробити висновок, що на всій ділянці перегону деформації мають затухаючий характер. Лінія тренду, яка проходить в наближенні до величин деформацій по кожному пікету, виражена поліноміальною функцією третього порядку.

Подальше будівництво ліній Київського метрополітену відкритим способом із суцільно-секційною оправою, яка спирається на водонасичену основу, потребує її підготовки, а також застосування спеціальних прийомів, що дозволяють споруджувати вказані тунельні конструкції із мінімальним впливом на оточуючий масив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине [Текст] /

- В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютькин. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. – 252 с.
2. Петренко, В. Д. Надежность способов закрепления грунтов при эксплуатации перегонных тоннелей Киевского метрополитена [Текст] / В. Д. Петренко, В. И. Петренко, Г. К. Савинков // Вісник ДНУЗТу імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ. – 2011. – Вип. 35. – С. 135-139.
3. Петренко, В. Д. Обзор аналитических и экспериментальных методов исследования взаимодействия массива и крепи [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютькин, В. И. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 1. – С. 75-81.
4. Дашевский, М. А. Распространение волн при колебании тоннелей метро [Текст] / М. А. Дашевский // Строительная механика и расчет сооружений, 1974. – № 5. – С. 29-34.
5. Великотный, А. П. Влияние величины вибродинамического воздействия на деформируемость глинистых грунтов [Текст] / А. П. Великотный // Вопросы земляного полотна и геотехники на железнодорожном транспорте. – 1980. – Вып. 208/29. – С. 30-34.
6. Вознесенский, Е. А. Поведение грунтов при динамических нагрузках [Текст] / Е. А. Вознесенский. – Москва : Изд-во МГУ, 1997. – 286 с.
7. Кудрявцев, И. А. Влияние динамических нагрузок на виброкомпрессию несвязных грунтов [Текст] / И. А. Кудрявцев // Сб. науч. трудов «Основания и фундаменты», 1989. – С. 73-79.
8. Кудрявцев, И. А. Влияние вибрации на основания сооружений [Текст] / И. А. Кудрявцев. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 274 с.
9. Пат. 108108 Україна, МПК E02D 17/20 (2006.01). Суміш для укріплення лесових, піщаних та глинистих ґрунтів [Текст] / Петренко В. Д., Тютькін О. Л., Петрівський І. В., Кулаженко Є. Ю. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № у 2015 07235 ; заявл. 20.07.2015 ; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13. – 4 с.
10. Пат. 114248 Україна, МПК E02D 17/20 (2006.01). Спосіб укріплення ґрунтової основи [Текст] / Петренко В. Д., Тютькін О. Л., Пшінько П. О., Марочка В. В., Кулаженко Є. Ю. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № у 2016 06637 ; заявл. 17.06.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. – 4 с.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

11. Петренко, В. И. Обоснование параметров химического закрепления грунтов при строительстве Киевского метрополитена [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 4. – С. 60-66.
12. Tsinidis, G. Centrifuge Modelling of the Dynamic Behavior of Square Tunnels in Sand / G. Tsinidis, C. Heron, K. Pitilakis, G. S. P. Madabhushi // Experimental Research in Earthquake Engineering. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. – 2015. – Vol. 35. – pp 509-523.
13. Zhang, Junfeng Built-Up and Dissipation of Excess Pore Water Pressure in Saturated Sand Under Impact Loading / Zhang Junfeng, Meng Xiangyue // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2009. – Vol. 3. – pp. 1463-1468.
14. Li, Haifeng Design of a Shield Driving in Water-saturated Cobble and Sand Stratum with High Content of Large-grain Cobbles / Li Haifeng // Modern Tunnelling Technology. – 2009. – Vol. 1. – pp. 57-63.

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, А. Л. ТЮТЬКИН², Е. Ю. КУЛАЖЕНКО³, В. И. ПЕТРЕНКО⁴

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, эл. почта jaksson777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

⁴ Публичное акционерное общество «Киевметрострой», ул. Прорезная, 8, Киев, Украина, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, эл. почта petrenko@metrobud.kiev.ua

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ОБДЕЛКИ СЫРЕЦЬКО-ПЕЧЕРСКОЙ ЛИНИИ КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ УМЕНЬШЕНИЮ

Цель. В статье исследованы деформации во времени водонасыщенного основания цельно-секционной обделки перегонных тоннелей Сырецко-Печерской линии Киевского метрополитена с целью выяснения их причин и предложения мероприятий по их уменьшению. **Методика.** Для достижения поставленной цели, авторами была проведена привязка к инженерно-геологическому разрезу оседаний обделки, которые получены по результатам мониторинга на протяжении 8 лет. Маркшейдерская съемка проводилась нивелированием с привязками к пикетам трассы. Проанализированы инженерно-геологические условия залегания нескольких проблемных участков Сырецко-Печерской линии Киевского метрополитена. Разработаны мероприятия уменьшения деформаций основания. **Результаты.** После анализа мониторинговых данных, выяснено, что оседание основания чаще всего протекает равномерно, без резкого изменения величины деформаций. Получены максимальные значения деформаций водонасыщенного основания с привязкой к геологическому разрезу. Соответствие характерной интенсивности увеличения деформаций при изменении инженерно-геологических условий подтверждает верность привязки результатов измерений к реальным условиям. Построены графики закономерностей деформаций во времени от метropоезда. **Научная новизна.** Установлены закономерности деформации под действием метropоезда разнообразных грунтов, в том числе водонасыщенных. Привязка к существующим инженерно-геологическим условиям и высокая степень достоверности аппроксимации свидетельствует об их функциональном характере. **Практическая значимость.** Разработаны мероприятия по уменьшению деформаций водонасыщенного основания путем разработки новых приемов строительства перегонных тоннелей с цельно-секционной обделкой, а также технологий подготовки водонасыщенного основания.

Ключевые слова: метрополитен; перегонный тоннель; мониторинг; цельно-секционная обделка; деформация

V. D. PETRENKO^{1*}, O. L. TIUTKIN², YE. YU. KULAZHENKO³, V. I. PETRENKO⁴

^{1*} Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 768 49 21, e-mail jaksson777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

⁴ Public Joint-Stock Company «Kyivmetrobud», Prorizna Str., 8, Kiev, Ukraine, 01601, tel. +38 (044) 455 23 00, e-mail petrenko@metrobud.kiev.ua

DEFORMATIONS MONITORING OF SUPPORT THE SYRETSKO-PECHERSKA LINE OF KIEV METRO AND MEASURE ON THEIR DIMINISHMENT

Purpose. Deformations in time of the water-saturated base of all-section support of driving tunnels of the Syretsko-Pecherska line of Kiev Metro with the purpose of finding out of their reasons and suggestion of measures on their diminution are researched in the article. **Methodology.** For achievement of the put purpose authors conducted attachment to the engineering and geological cut of support settling, which are got on results monitoring during 8 years. A mining surveyor survey was conducted by a level with conjunctions to the pickets of route. The engineering and geological conditions of bedding of a few problem areas of the Syretsko-Pecherska line of Kiev Metro are analysed. The measures of diminution of the base deformations are developed. **Findings.** After the monitoring of data analysis, it is found out that settling of the base frequently more than all proceeds uniform without the sharp change of deformations size. The maximal values of deformations of the water-saturated base with conjunction to the geological section are got. Accordance of characteristic intensity of increase of deformations at the change of engineering and geological terms confirms fidelity conjunction of measuring results to the real terms. The graphs of conformities with the law of deformations in time from metro train are built. **Originality.** Conformities with the law of deformations under action of metro train of various soils are set, including water-saturated. Conjunction to the existing engineering and geological conditions and the high degree of authenticity of approximation testifies to their functional character. **Practical value.** Measures on diminishment of deformations of the water-saturated base by development of new receptions of building of driving tunnels with all-section support are developed, and also technologies of preparation of the water-saturated base.

Keywords: metro; driving tunnel; monitoring; all-section support; deformation

REFERENCES

1. Petrenko V. I., Petrenko V. D., Tyutkin A. L. *Sovremennye tekhnologii stroitelstva metropolitenov v Ukraine* [Modern technologies of building subways in Ukraine]. Dnipropetrovsk, Nauka i osvita Publ., 2005. 252 p.
2. Petrenko V. D., Petrenko V. I., Savinkov G. K. Nadezhnost sposobov zakrepleniya gruntov pri ekspluatatsii peregonykh tonneley Kievskogo metropolitena [Reliability of methods of anchoring soils during operation of the tunnels of the Kiev Metro]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana – Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2011, issue 35, pp. 135-139.
3. Petrenko V. D., Tyutkin A. L., Petrenko V. I. Obzor analiticheskikh i eksperimentalnykh metodov issledovaniya vzaimodeystviya massiva i krepki [Review of analytical and experimental methods of research of co-operation of massif and support]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 75-81.
4. Dashevskiy M. A. Rasprostranenie voln pri kolebanii tonneley metro [The wave advance of fluctuation of the subway tunnels] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy – Building mechanics and calculation of constructions*, 1974, issue 5, pp. 29-34.
5. Velikotnyj A. P. Vlijanie velichiny vibrodinamicheskogo vozdeystviya na deformiruemost' glinistykh gruntov [Influence of the magnitude of the vibrodynamic effect on the deformability of clay soils]. *Voprosy zemljanogo polotna i geotekhniki na zheleznodorozhnom transporte – Questions of the roadbed and geotechnics in railway transport*. Dnepropetrovsk, DIIT, 1980, issue 208/29, pp. 30-34.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

6. Voznesenskij E. A. *Povedenie gruntov pri dinamicheskikh nagruzkah* [The state of soils at dynamic loads]. Moscow, MGU Publ., 1997. 286 p.
7. Kudrjavcev I. A. Vlijanie dinamicheskikh nagruzok na vibrokompresiju nesvjaznykh gruntov [Influence of dynamic loads on vibrocompression of non-cohesive soils]. *Osnovanija i fundamenti – Foundations and foundations*, 1989. pp. 73-79.
8. Kudrjavcev I. A. Vlijanie vibracii na osnovanija sooruzhenij [Influence of vibration on the foundation of structures]. Gomel, BelGUT Publ., 1999, 274 p.
9. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Petrivskiy I. V., Kulazhenko Ye. Yu. *Sumish dlja ukriplivannia lesovykh, pishchanykh ta hlynistykh gruntiv* [A mixture for strengthening forest, sand and clay soils] Patent UA, no. 108108 u 2015 07235, 2015.
10. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Pshinko P. O., Marochka V. V., Kulazhenko Ye. Yu. *Sposib ukriplivannia gruntovoї osnovy* [Method of strengthening the soil base] Patent UA, no. 114248 u 2016 06637, 2016.
11. Petrenko V. I., Petrenko V. D. Obosnovanie parametrov himicheskogo zakreplenija gruntov pri stroitel'stve Kievskogo metropolitena [Substantiation of the parameters of chemical anchoring of soils during the construction of the Kiev subway]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 4, pp. 60-66.
12. Tsiniadis G., Heron C., Pitilakis K., Madabhushi G. S. P. Centrifuge Modelling of the Dynamic Behavior of Square Tunnels in Sand Experimental Research in Earthquake Engineering. Geotechnical, *Geological and Earthquake Engineering*. 2015, Vol. 35, pp. 509-523.
13. Zhang Junfeng, Meng Xiangyue Built-Up and Dissipation of Excess Pore Water Pressure in Saturated Sand Under Impact Loading *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2009, Vol. 3, pp. 1463-1468.
14. Li Haifeng Design of a Shield Driving in Water-saturated Cobble and Sand Stratum with High Content of Large-grain Cobbles Modern Tunnelling Technology. 2009, Vol. 1, pp. 57-63.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Біляєвим (Україна), д.т.н., проф. Й. Й. Лучком (Україна).

Надійшла до редколегії 15.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.