

нения различных конструкций скважинных зарядов с использованием нейтрализующих веществ в составе забоечного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зберовский А.В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер – окружающая среда – человек». – Днепропетровск, РИО АП ДКТ, 1997. – 136 с.
2. Методические подходы к выбору устойчивого развития территории/ Под научной редакцией проф., д-ра техн. Наук А.Г. Шапаря; НАН Украины. Ин-т проблем природопользования и экологии. – Днепропетровск, 1996. В двух томах.
3. Гопанюк Д.Г., Швец В.Ю., Пацера С.В. Способы уменьшения загрязнения окружающей природной среды от действия взрывных работ при разрушении горных пород // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 12. – С. 99-101.
4. Ефремов Э.И., Мартыненко В.П., Бережецкий А.Я. Способ повышения эффективности взрыва и локализации пылегазовых выбросов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного ун-ту: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КПДУ, 2002. – Вип. 2 (13). – С. 3-5.
5. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности) ч. II. Учебник для вузов. 3-е издание, переработанное и дополненное. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1994. – 448 с.
6. Гущин В.И. Взрывные работы на карьерах. М., «Недра», 1975. – 248 с.

УДК 624.191.24

Канд. техн. наук В.І. Петренко,
(Державна корпорація „Укрметротунельбуд”)

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРІВ ДЕФОРМАЦІЙ КІЛЕЦЬ ОПРАВ ЕСКАЛАТОРНИХ ТУНЕЛІВ

В статті розглядається поведінка залізобетонної і чавунної оправи декількох ескалаторних тунелів Київського метрополітену, які пройдені в шаруватих ґрунтах. Надається порівняння деформацій оправ в залежності від гірського тиску, первинного нагнітання розчинів, температурних діянь при заморожуванні-відтаюванні ґрунту.

ANALYSIS OF OUTCOMES OF TOOLHOUSE MEASUREMENTS OF COLLARS STRAINS OF CASINGS THE ESCALATOR TUNNELS

In the article the conduct the reinforced concrete and cast-iron of linings of series of Kiev underground escalator tunnels, passed in the stratified soils, is examined. The comparison of lining deformations on the rock pressure, primary solutions injection and temperature influences at freezing-thawing of soil is offered.

Однією з найважливіших задач при проектуванні і будівництві тунелів різного призначення, в тому числі і похилих ескалаторних, є прогнозування характеру геомеханічних процесів, що виникають при їхньому спорудженні. Напружено-деформований стан (НДС) оправи та оточуючих ґрунтів визначається розмірами і положенням шарів з меншими деформаційними характеристиками, розподілом і максимальними значеннями деформацій та їх тривалістю. Крім того, названі характеристики визначаються міцністю ґрунтів, положенням рівня ґрунтових вод, глибиною закладання тунелю, конструкцією і типом оправи, процесом заморожування та відтаювання ґрунтів тощо.

До сучасних методів прогнозування НДС тунелів різного призначення, в тому числі метрополітенів, відноситься метод математичного моделювання, що передбачає проведення чисельних експериментів з використанням спеціалізованих програмних засобів на основі методу скінченних елементів (МСЕ). Але при його використанні необхідно вірно застосовувати методику, яка б відповідала характеру підземного об'єкта, напруженого стану оточуючого масиву, специфіці спорудження та експлуатації підземної споруди. З метою контролю відповідності реального деформування ґрунтового масиву та оправи результатам математичного моделювання доцільно проводити постійні спостереження за названими процесами за допомогою приладів. Отримані результати досліджень НДС ескалаторних тунелів дозволяють управляти геотехнічними процесами з метою зменшення негативного впливу окремих факторів.

При будівництві ескалаторних тунелів визначальним фактором формування НДС є закріплення перших і останніх кілець оправи і подальший постійний контроль за монтажем оправи. З метою забезпечення нормативних відхилень кілець оправи і осі тунелю від проектного положення необхідно забезпечити відповідний будівельний зазор між масивом і кільцями оправи шляхом заповнення його піщано-цементною сумішшю або ґрунтом.

Під час проходки тунелів ведеться контроль за деформаціями поверхні землі навколо ескалаторного тунелю з метою контролю геотехнічних процесів, які можуть вплинути на положення кілець оправи і поздовжньої осі тунелю в цілому. Причому, при використанні способу штучного заморожування ґрунтів перед будівництвом ескалаторного тунелю важливим є збереження жорсткості конструкції в замороженому ґрунті і її герметичність. При невідповідній НДС оточуючого масиву загальній жорсткості внаслідок різних величин деформацій ґрунту по довжині тунелю можливо його викривлення і, як наслідок, розрив кілець оправи. Звичайно, положення їх контролюється маркшейдерськими вимірюваннями, що дозволяє прийняти відповідні рішення по забезпеченню нормального стану конструкцій.

Для виявлення загальних закономірностей деформування ескалаторних тунелів та їх оправ при взаємодії із шаруватим оточуючим масивом проведено аналіз результатів інструментальних вимірів деформацій, які проводилися маркшейдерсько-геодезичною службою ВАТ „Київметробуд” впродовж деякого часу. Отримана інформація аналізується із позицій впливу жорсткості оправи ескалаторного тунелю та її взаємодії із шарами ґрунту, які мають різні деформаційні характеристики. Слід зазначити, що на розвиток деформацій кілець оправи значно впливає технологія проведення робіт по спорудженню тунелю. Із практики будівництва відомо, що при передчасному заморожуванні нестійких обводнених ґрунтів та після їх відтаювання виникають значні температурні напруження, значення яких можуть у декілька разів перевищувати гірський тиск. Також на розвиток деформацій оправи значно впливає тиск, який розвивається при первинному нагнітанні піщано-цементного розчину за оправу, яке проводиться при монтажі кільця, найближчого до того, що монтується. Такий комплекс навантажень, які впливають на оправу з кін-

цевою жорсткістю, настільки складний, що при розрахунках НДС принцип суперпозиції застосовувати практично неможливо. Це пояснюється тим, що постійні навантаження (гірський тиск) не можна підсумовувати із тимчасовими (температурні напруження в циклі „заморожування-відтаювання” та тиск піщано-цементного розчину), так як їх вплив не є визначеним і, можливо, кожна з компонент тимчасового навантаження впливає на інший. Тому аналіз переміщень кілець оправи виконується, виходячи із припущення, що вплив тимчасових навантажень незначний. Це обґрунтовано отриманими результатами інструментальних вимірів, аналіз яких дає змогу зробити висновок, що вони проводилися після того, як спорудження ескалаторного тунелю вже закінчено. Таким чином, вплив первинного нагнітання незначний і можна вважати, що цикл „заморожування-відтаювання” також закінчений. Хоча в деяких випадках на деформування ескалаторних тунелів ще відбувається вплив тимчасових навантажень, що позначено нерівномірністю та швидким плином деформацій, але може свідчити про те, що їх розвиток відбувається по причині зміни гірського тиску та проявів реологічних явищ, наприклад, в глинистих породах. В отриманих при вимірах деформацій даних позначено, що проявів гірського тиску у вигляді суттєвого підвищення його значень у часі за короткий термін та гірських ударів не спостерігалось, тому можна вважати його розвиток сталим і незначно неоднорідним. Цей факт свідчить про те, що аналіз деформацій слід проводити з позиції впливу на них лише жорсткості оправи та розвитку гірського тиску.

Із вихідних даних вимірювань отримано картини розвитку деформацій у визначені терміни по наступних об'єктах:

1) ескалаторний тунель із збірною залізобетонною оправою станції „Сирецька” (нині – „Сирець”);

2) ескалаторний тунель із збірною залізобетонною оправою станції „Дорогожичи”.

Для аналізу впливу жорсткості оправи та деформаційних характеристик шарів масиву прийняті наступні результати інструментальних вимірів:

1) еліптичність по вертикальній осі;

2) еліптичність по горизонтальній осі (тільки для станцій „Сирець” та „Дружба народів”);

3) відхилення лотку від проекту (тільки для станції „Сирець”);

4) відхилення замка від проекту (тільки для станцій „Сирець”, „Дорогожичи” та „Дружба народів”).

Для обробки такого значного масиву інформації було проведено систематизацію даних у вигляді графіків залежностей переміщень оправи за датами вимірів. Слід відмітити, що аналіз переміщень кілець оправи в станціях „Дорогожичи” та „Лук'янівська” може бути тільки якісним, так як не можна провести співставлення отриманих результатів із інженерно-геологічними даними, які надані лише для станцій „Сирець” та „Дружба народів”. Але даних по цих двох ескалаторних тунелях достатньо, щоб виявити деякі закономірності впливу жорсткості та деформаційних характеристик оточуючого масиву на

розвиток переміщень.

Нижче наведені описи розміщення кілець в масиві (табл. 1 та 2), причому деякі кільця розміщені таким чином, що лоток та замок знаходяться в ґрунтах із різними деформаційними характеристиками.

Таблиця 1 – Станція „Сирець” (залізобетонна оправа)

Номери кілець	Положення замка в ІГЕ*	Положення лотка в ІГЕ
1-15	Шар 20а	Шар 20а
20	Шар 20а	Шар 23
25	Шар 20а	Шар 20а (вклинювання)
30	Шар 20а	Шар 23
35	Шар 20а	Шар 70
40-45	Шар 23	Шар 72
50	Шар 70	Шар 73
60-70	Шар 72	Шар 73
75-95	Шар 73	Шар 73

* ІГЕ – інженерно-геологічний елемент

Таблиця 2 – Станція „Дружба народів” (чавунна оправа)

Номери кілець	Положення замка в ІГЕ	Положення лотка в ІГЕ
1-65	Шар 20а	Шар 20а
70-85	Шар 72	Шар 72
90-100	Шар 73	Шар 73

Примітка: Опис шарів ІГЕ.

20а – пісок жовтий і сірий, мілкий з прошарками супіску та суглинку, середньої щільності, насичений водою.

23 – суглинок світло-сірий з прошарками супіску і лінзами піску, тугопластичний.

70 – супісок темно-зелений з прошарками піску, текучий.

72 – суглинок сірувато-зелений слюдистий з тонкими прошарками піску, тугопластичний.

73 – глина зеленувато-блакитно-сіра мергельна, напівтверда, тугопластична (глина спонділова).

Властивості ґрунтів різних ІГЕ надані в табл. 3.

Таблиця 3 – Властивості ґрунтів ІГЕ

Но- мер ІГЕ	Коефі- цієнт по- рис-тості е	Показник кон- систенції	Питоме зчеплен- ня С, МПа	Кут внут- ріш-нього тертя φ, град	Модуль пружності Е, МПа	Питома вага γ, кН/м ³
20а	0,55	–	0,004	36	38,0	17,0
23	0,65	0,50<I _L <0,75	0,025	19	17,0	18,0
70	0,55	0,25<I _L <0,50	0,030	23	21,0	17,0
72	0,55	0,25<I _L <0,50	0,034	23	25,0	18,0
73	0,65	0,25<I _L <0,50	0,057	18	21,0	18,0

Із аналізу графіків переміщень кілець оправи ескалаторного тунелю станції „Сирець”, які не наводяться у статті по причині їх значної кількості, можна заключити, що відхилення склепіння від проекту в перші місяці проходять

внаслідок значних переміщень кілець всередину тунелю (до 70...80 мм), причому із часом переміщення значно зменшуються в 1-40 кільцях – до 45...60 мм. Це доводить той факт, що із часом тимчасові навантаження зменшують свою роль і в процес деформування вступає гірський тиск достатньо однорідного характеру і гідростатичний тиск. Значення переміщень замка (до 50 мм) в 1-40 кільцях пов'язані з тим, що гірський тиск ще незначний. В 45-80 кільцях значення переміщення замка зростають до значень 80...100 мм, що можна пояснити наступним. Починаючи з 45 до 75 (80) кільця в замку залягає суглинок, а в лотці – спонділова глина, і це впливає на деформування оправи. Аналізуючи сумісно переміщення замка і лотка, можна вважати, що до 35 кільця переміщення лотка проходять всередину тунелю, а потім до 95 кільця – назовні. Це пояснюється тим, що в перших 35 кільцях вертикальний тиск має незначні величини, не маючи змогу вдавлювати оправу в основу, а після 35 кільця деформативність ґрунту дозволяє розвивати переміщення в основі, так як до 35 кільця залягає пісок, після 35 кільця – суглинок або глина.

Можна вважати, що переміщення замку в 80...100 мм не є абсолютними, так як лоток також переміщується. Тому абсолютним переміщенням кілець починаючи з 35 до 95 кілець є різниця між переміщеннями замку та лотку, яка складає 50...60 мм, як і в кільцях № 1-35.

Значення абсолютних переміщень кілець оправи (50...60 мм) із збереженням габариту свідчить про те, що в ґрунтах типу пісків та суглинків-глин жорсткості залізобетонної оправи достатньо для протистояння гірському тиску. Підвищені деформації оправи із залізобетону на відміну від оправи із чавуну відіграють позитивну роль в загальній картині деформованого стану, так як виникають більші деформації лотку, які нівелюють значення переміщень замку, зберігаючи габарит.

Аналіз графіків переміщень по вимірюванням (рис. 1, 2) також доводить той факт, що до 30 кільця переміщення лотку позитивні, тобто лоток деформується всередину кільця, а з кільця 35 до 95 – назовні. Це пояснюється тим, що в піску (ІГЕ 20а) більш жорсткі характеристики ($E=38$ МПа), чим у суглинку чи глини (ІГЕ 70, 72 та 73) з модулем пружності $E=21...25$ МПа. Розвиток деформацій на протязі трьох місяців по ескалаторному тунелю станції „Сирець” показує, що вони є постійними.

Цей факт також доводять апроксимації графіків (рис. 1, 2), а саме незначна зміна аргументів біля змінних поліному четвертого порядку (відхилення лотку від проекту) та шостого порядку (відхилення замку від проекту).

Цей факт є свідченням того, що залізобетонна оправа похилого ескалаторного тунелю станції „Сирець” працює в нормальному режимі експлуатації і можна вважати, зважаючи на сталий характер деформування оправи, що цикл „заморожування-відтаювання” та вплив первинного нагнітання пройшли нормально.

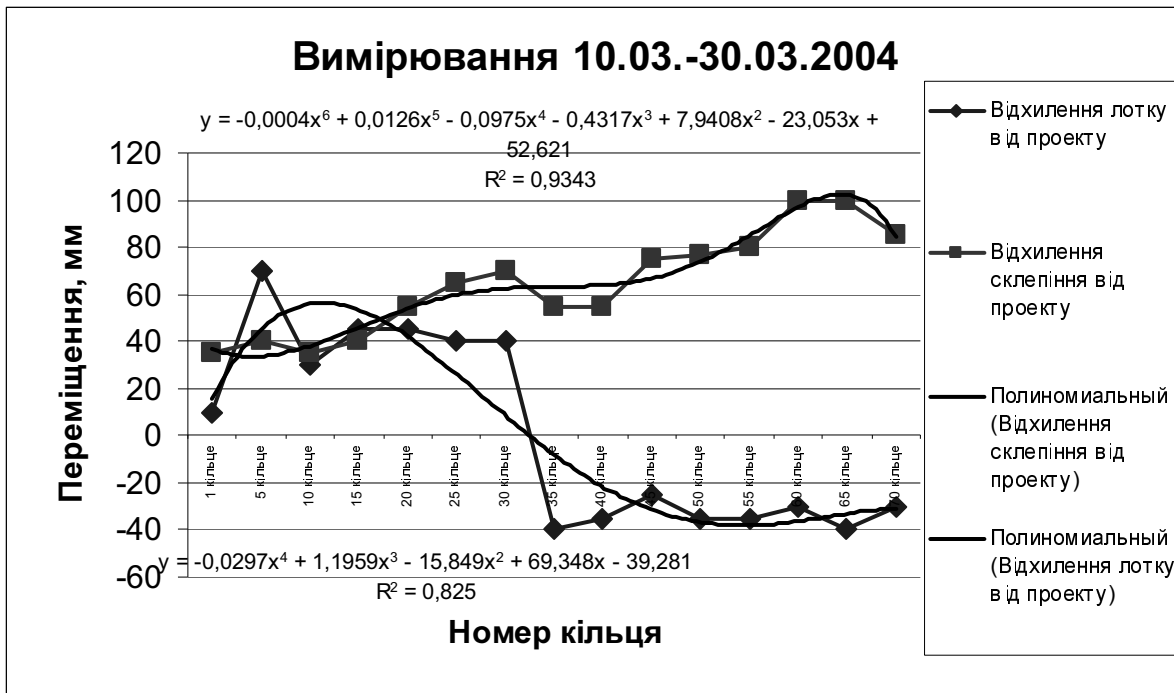


Рис. 1 – Апроксимація кривої відхилення лотку та склепіння від проектної величини по довжині тунелю („Сирець”)

Аналіз переміщень ескалаторного тунелю станції „Дружба народів” із збірною чавунною оправою також підтверджує надані вище висновки. Переміщення склепіння при його відхиленні від проекту складає 30...50 мм, що свідчить про значну жорсткість чавунної оправи. Слід відмітити, що графіки розподілу переміщень в кожному кільці оправи не наводяться, але графіки на рис. 3-5 дають змогу оцінити цей розподіл по всій довжині тунелю. Аналіз переміщень замку в кільцях 1-65, які залягають в пісках (ІГЕ 20а), свідчить про те, що вони проходять всередину оправи, а в кільцях № 65-100 вони про-

ходять назовні. Причому в кільцях 65-100 в перший місяць замірів переміщення ще позитивні, а потім дуже значно змінюються, причому змінюється і їх знак. Це свідчить про те, що боковий тиск значно збільшується в кільцях 65-100, так як інженерно-геологічні умови в них представлені суглинками та глинами. Значення переміщень до 50 мм є нормативними, а характер розподілу переміщень в графіках вимірювання в конкретний термін свідчить про усталення деформацій. Апроксимація кривої відхилення склепіння від проекту також свідчить про сталий характер деформацій, причиною яких є нормально виконаний цикл „заморожування-відтаювання” та первинне нагнітання із витримкою технології його проведення (рис. 3-5).

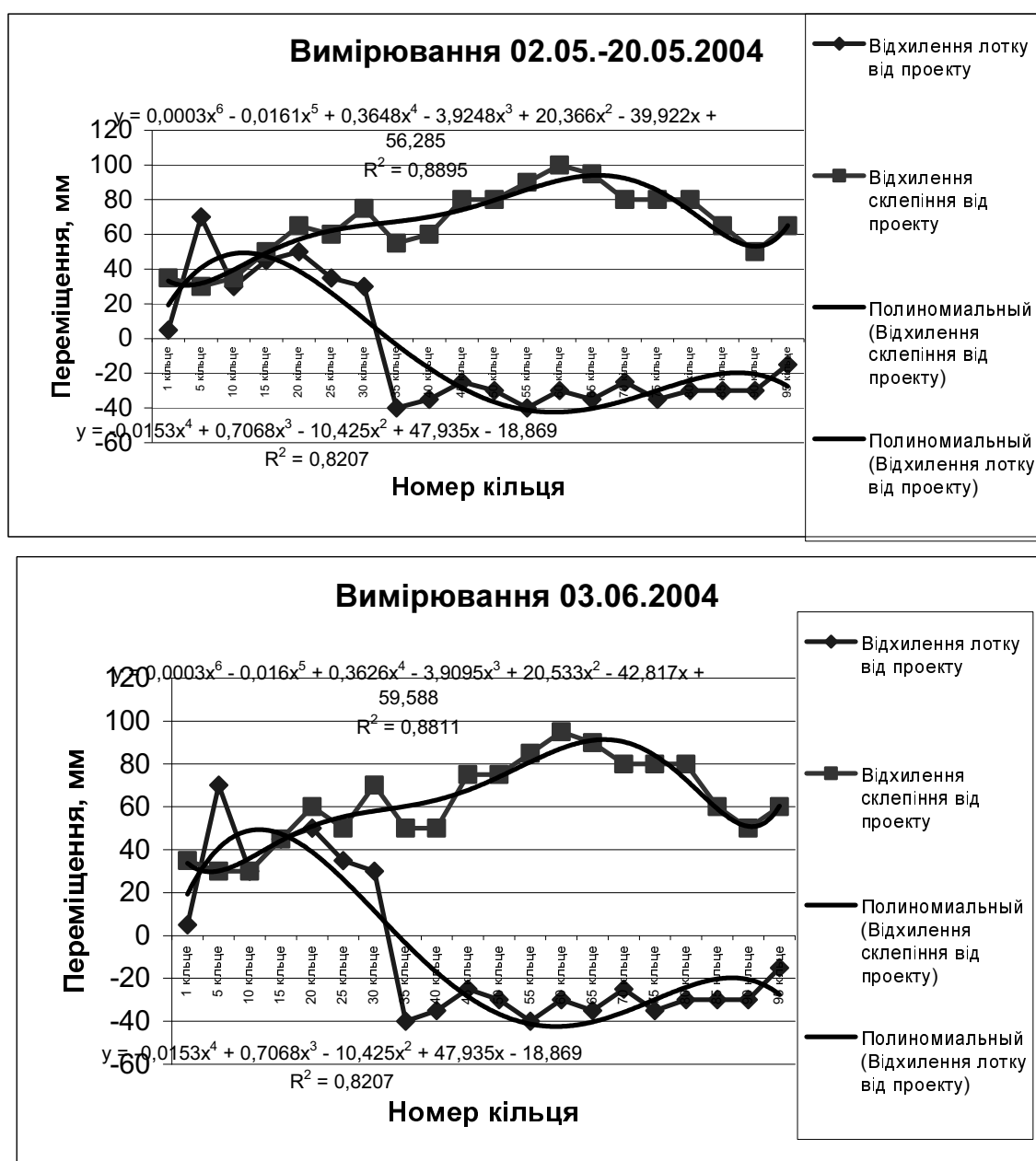


Рис. 2 – Апроксимація кривої відхилення лотку та склепіння від проектної величини по довжині тунелю („Сирець”)



Рис. 3 – Апроксимація кривої відхилення склепіння від проектної величини по довжині тунелю



Рис. 4 – Апроксимація кривої відхилення склепіння від проектної величини по довжині тунелю

Аналіз графіків дозволяє зробити висновок, що при будівництві ескалаторних тунелів оправа в розглянутих умовах знаходиться у нормальному стані. Це пояснюється тим, що деформування оправи усталене, без виплесків та флуктуацій, що свідчить про нормальне та помірне зростання гірського тиску та вірно виконану технологію по заморожуванню та відтаюванню зволоженого масиву та робіт по первинному нагнітання. Наведений аналіз також довів, що застосування залізобетонних оправ доцільно та раціонально. Це ще раз доказує, що можна застосовувати залізобетонну оправу для ескалаторних ту-

нелів в інженерно-геологічних умовах середньої складності та водопритоках при наявності системи гідроізоляції у вигляді резинових ущільнювачів.



Рис. 5 – Апроксимація кривої відхилення склепіння від проектної величини по довжині тунелю