

УДК 528: 378.147.227

## ОЦІНКА РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІНІЇ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ КРИВОГО РОГУ В РАЙОНІ СТАНЦІЇ “МАЙДАН АРТЕМА”

**О. Куліковська**

Криворізький національний університет

**Ключові слова:** геодезичний моніторинг, швидкісний трамвай, небезпечні інженерно-геологічні процеси, вертикальні зміщення.

### Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями

З підвищенням суспільного інтересу до екологічних проблем населених пунктів зростає необхідність у глибокому вивченні впливу техногенезу на природні процеси та явища. Основні події техногенного походження часто розвиваються за несподіваними і непередбаченими схемами. Зазвичай громадськість та її значна частина фахівців мають про це нечітке уявлення. Мало хто розуміє, що кожний з нас живе в особливих геологічних, погодних і техногенних умовах. Інженерні споруди та організм людини перебувають постійно в нових умовах життя та існування й вимушені реагувати на цей факт (часто несвідомо) всіма своїми засобами пристосування. Тому основними об'єктами моніторингу й аналізу повинні стати об'єкти, які розташовані в складних геолого-тектонічних умовах, аварії на яких можуть істотно впливати на економічний та соціальний стан міста.

### Постановка завдання

Одним із об'єктів Криворізького регіону, який насамперед вимагає проведення постійного спостереження, є швидкісний трамвай (ШТ) та інженерні об'єкти прилеглих територій (рис. 1). За результатами опитування жителів м. Кривого Рогу кожен третій користується послугами КП “Швидкісний трамвай”. Дослідженнями на цьому об'єкті займалися провідні фахівці маркшейдерсько-геодезичних агенцій, вагомий внесок у роботу зробили науковці кафедри тунелів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту [1, 2].

За період експериментів було вилучено безліч ділянок, які з технічних причин поступово стали непридатними для їх подальшої експлуатації, деякі з них було оголошено аварійними територіями. Найвагомішими проблемами, з якими стикається КП “Швидкісний трамвай”, є: вертикальні деформації тунелів глибокого залягання на перегоні ст. “Дзержинська” – ст. “Будинок Рад” – ст. “Проспект металургів” – південний портал; зсуви (найбільший зафіксовано у 2001 р. на дамбі шламосховища ш. “Тігант”); підтоплення тунелів неглибокого залягання.

У цій статті об'єктом дослідження була територія станції “Майдан Артема”, розміщена у центральній частині лінії швидкісного трамваю. Станція розташована практично у центрі мікрорайону Кірова.

Споруджена за спецпроектом: це – підземна станція з двома протилежними платформами і одним рядом колон, що розташовані між коліями. Колони облицьовані коричневим мармуром, стіни глазурованою плиткою, наземний вестибюль має округлу форму. Територіально станція розташована на розі вулиць Балакіна, Космонавтів і парку – алеї, яка прямує до вулиці Мелешкіна – однієї з ланок магістралі, що проходить через усе місто.

### Виклад основного матеріалу проблеми

Криворізький швидкісний трамвай – переважно позавулична швидкісна гібридна легкорейкова транспортна система у Кривому Розі Дніпропетровської області. Має одну лінію завдовжки 18,7 км, якою прокладено три маршрути (табл. 1). Налічує 15 станцій, з яких чотири – підземні. Більша частина лінії збудована за стандартами метрополітену, але як рухомий склад використовуються трамвайні вагони, а не потяги метро.

Лінія швидкісного трамваю уражена розвитком небезпечних інженерно-геологічних процесів. Найінтенсивніше ці процеси проявляються в районі ст. “Майдан Артема”, ст. “Будинок Рад” та ст. “Проспект Металургів”.

Таблиця 1

### Технічні параметри швидкісного трамваю

Характеристика	Показник
1. Загальна кількість станцій (“Кільцева” – тимчасова) + законсервована “Вовнопрядильна”	15
2. Кількість підземних станцій (“проспект Металургів”, “Будинок Рад”, “Площа Артема”, “Електрозаводська”)	4
3. Експлуатаційна протяжність лінії	18,7 км
4. Протяжність ліній, які проходять під землею	6,8 км
5. 1-й маршрут (“Кільцева” – “Площа Праці”)	12,2 км
6. 2-й маршрут (“Кільцева” – “Зарічна”)	18,7 км
7. 3-й маршрут (“Зарічна” – Кільце АМКР)	18,7 км
8. Довжина платформ	від 104 м до 40 м
9. Ширина колії	1520 мм
10. Мінімальний інтервал між поїздами	2–3 хвилини в час пік
11. Час у дорозі: 1-й маршрут 2-й маршрут	25 хв. 40 хв.
12. Пасажиропотік за рік	45,3 тис. осіб
13. Максимальний річний пасажиропотік	16,552 млн. осіб/рік



Рис. 1. Схема шляхового розвитку швидкісного трамваю м. Кривий Ріг

За період досліджень проведено інструментальні спостереження за вертикальними деформаціями тунелів неглибокого закладення на перегоні північний портал – південний портал ст. “Майдан Артема”. У 2007 р. відновлено репери (Rp) в тунелях ст. “Площа Артема” [1]. Для вищезгаданої ділянки прокладено два нівелірні ходи за програмою другого класу. Приклади закріплення точок спостережень на ділянці ст. “Майдан Артема” – північний та південний портали тунелю № 1 наведено відповідно на рис. 2, 3.

Другу серію вимірювань виконано у 2009 р. Спостереження, виконані у 2007 р., визнано першою серією. Аналіз результатів двох серій спостережень за 2007 – 2009 рр. показав наявність достатньо суттєвих значень деформацій тунелів: зафіксовано максимальне осідання у правому тунелі (–3,7 мм) в районі Rp60 та максимальне підняття в лівому тунелі зафіксовано на M14 (+8,4 мм). Якщо згрупувати визначені вертикальні зміщення та побудувати гістограму їх розподілу (рис. 4, табл. 2), то зазначимо, що спостерігаються практично однакові за чисельністю як осідання (приблизно 39 %), так і підняття (42 %). Результати моделювання процесу вертикальних зміщень у програмному комплексі Surfer наведено на рис. 5.

Для з’ясування причин утворень деформацій тунелів ст. “Майдан Артема” спроектовані також інженерно-геологічні дослідження. Інженерно-геологічні вишукування проводилися з метою вивчення геолого-літологічного розрізу, гідрогеологічних умов ділянки, фізико-механічних властивостей ґрунтів, з яких складається ділянка вишукувань. Глибина буріння свердловин у середньому становила 12 метрів.

Таблиця 2

### Результати статистичної оцінки отриманих вертикальних зміщень точок спостереження

Номер групи	Мінімальне значення	Максимальне значення	Кількість	
			%	абсолютна
1	-4,0	-1,5	19,8	16
2	-1,51	0	28,4	23
3	0,01	4	32,1	26
4	4,01	6	7,4	6
5	6,01	9	12,3	10

Зверху досліджувана ділянка спланована і покрита насипними ґрунтами, нижче представлена коричнево-бурими суглинками нижнього відділу та четвертинними глинами. Ґрунтові води за даними буріння на розвідану глибину не зафіксовані. Однак можна припустити, що в період будівництва та подальшої експлуатації споруди (за рахунок витоків з водонесучих комунікацій, непорядкованості поверхневого стоку та інших техногенних причин) були наявні тимчасові утворення рівня ґрунтових вод типу “верховодка” в насипному шарі, який представлений суглинком із рідкісними включеннями чорнозему. Насипний суглинок має просадні властивості з відносною просадковістю 0,012, якщо  $P = 0,3$  МПа. Ґрунтові умови за просадковістю відповідають I типу – осідання ґрунту від впливу власної маси не перевищує 5 см.

За даними аналізів водних витяжок з ґрунту за вмістом сульфатів ґрунти на майданчику за ступенем агресивного впливу на бетони марок  $W_4$ ,  $W_6$ ,  $W_8$  за водонепроникністю на портландцементі за ГОСТ 10178-85 належать до сильно агресивних. Щодо бетонів на портландцементі з добавками і шлакопортландцементі ґрунти – від середньо агресивних до неагресивних, від слабо – до неагресивних. Стосовно бетонів перерахованих вище марок на сульфатостійкому цементі ґрунти на дослідній ділянці вважаються неагресивними. Ступінь агресивності ґрунтів за вмістом хлоридів для залізобетонних конструкцій незалежно від марки бетону за водонепроникністю визначається як середній.

Зафіксовані коричнево-бурий суглинок та глина, взаємодіючи з водою, проявляють деформації набухання. Суглинок належить до слабо розбухлих (величина відносного набухання – до 5,7 %, вологість набухання – до 0,34 Д.Є., тиск набухання – до 0,01 МПа). Глина належить до сильно набухлих порід (величина відносного набухання – до 14,2 %, вологість набухання – 0,38; 0,1 МПа). Основою фундаментів такої споруди можуть бути такі ґрунти: насипний суглинок, коричнево-бурий суглинок та глина за відповідної інженерної підготовки їх згідно з СНиП 2.02-01-83, пп. 2,67 ... 2,71 [3].

У разі прив’язки основи фундаментів на насипний суглинок необхідно враховувати особливості проектування на насипних ґрунтах.

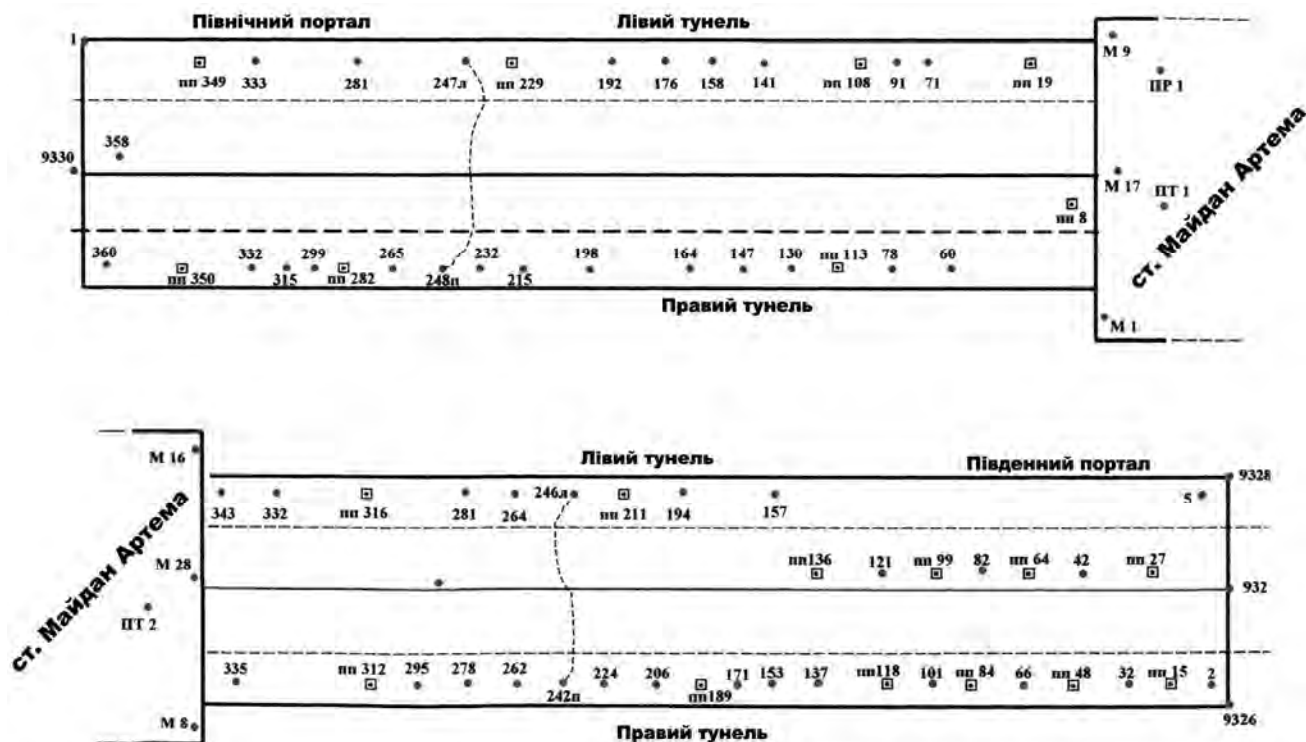


Рис. 2. Схема розміщення реперів тунельної ділянки № 1

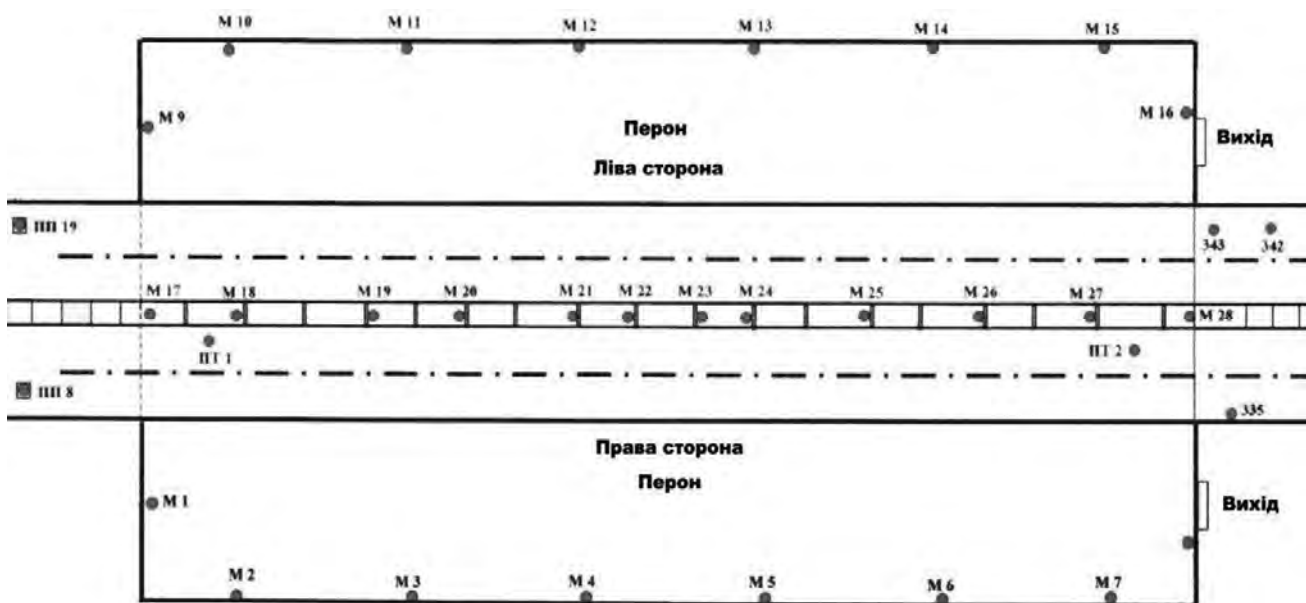


Рис. 3. Схема розміщення реперів на станції "Майдан Артема"

Зазначимо, що можна рекомендувати використувати такі першорядні види інженерної підготовки ґрунтів основи фундаментів, як: заходи, що оберігають ґрунти основи від погіршення їх властивостей (відповідне компонування генерального плану, вертикальне планування території, що забезпечує стік поверхневих вод, прокладання водоводів у спеціальних каналах, контроль за можливими витокami води тощо); попереднє замочування основи у межах усієї або частини товщі ґрунтів, що набухають; застосу-

вання компенсувальних піщаних подушок; повна або часткова заміна шару ґрунту, що набухає; комплекс заходів, що передбачає часткове усунення просадних властивостей ґрунтів, водозахисні й конструктивні заходи (СНиП 2.02.01–83, п. 2.67–2.71) [3]. Глибину закладення фундаментів рекомендується приймати не меншою від глибини сезонного промерзання ґрунтів. У цьому випадку глибина закладення фундаментів була більшою, ніж зафіксована в регіоні глибина промерзання ґрунтів – 0,9 м.

Окрім зазначених вище деформацій, можна навести й інший приклад. На перегоні станція “Майдан Артема” – станція “Дзержинська” на дамбі в районі ПК68+60 – ПК68+10, поблизу маршрутів швидкісного трамвая, виявлено деформацію земної поверхні – осідання ґрунту з утворенням уступу (тераси) заввишки 5–40 см і з озвитком закруглених тріщин-уступів на краях тераси, які розташовані 1,2–2 м на північний захід від паркану. На цій ділянці внизу дамби розташована насосна станція шахти “Гігант- Дренажна” управління “Кривбасгідрозахисту”. Висота дамби 6–8 м. Як було встановлено, ці деформації (зсув) виникли в результаті чергового прориву водоводу, розташованого на укосі дамби хвостосховища ш. “Гігант”.

Підтвердженням небезпечного впливу гірничодобувних робіт може також наочно слугувати створена 3D-поверхня (рис. 6), де чітко відображено осідання лівого тунелю і підняття правого, адже видобуток проводиться ліворуч від розташування лінії швидкісного трамвая: відбувається зміна напружено-деформованого стану гірських порід.

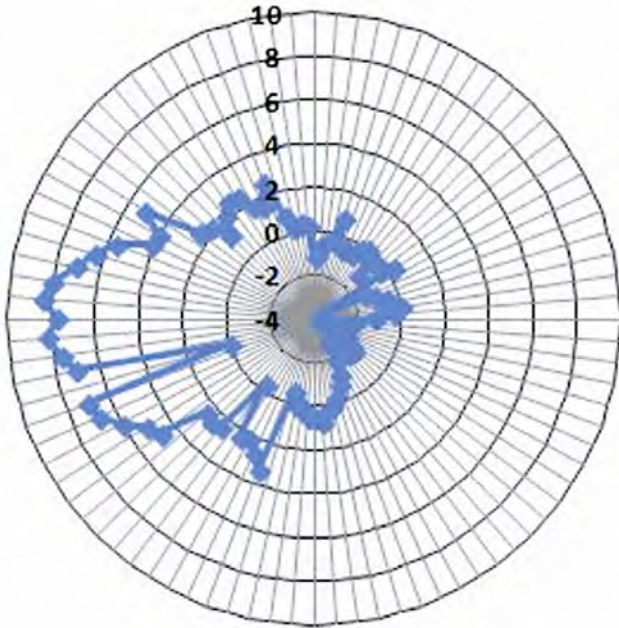


Рис. 4. Гістограма розподілу вертикальних зміщень за результатами спостережень

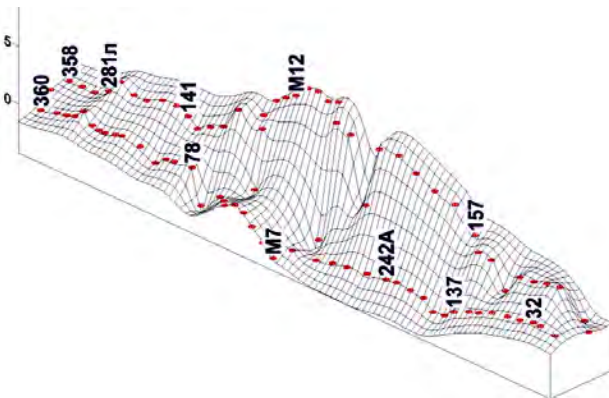


Рис. 6. 3D-поверхня вертикальних деформацій

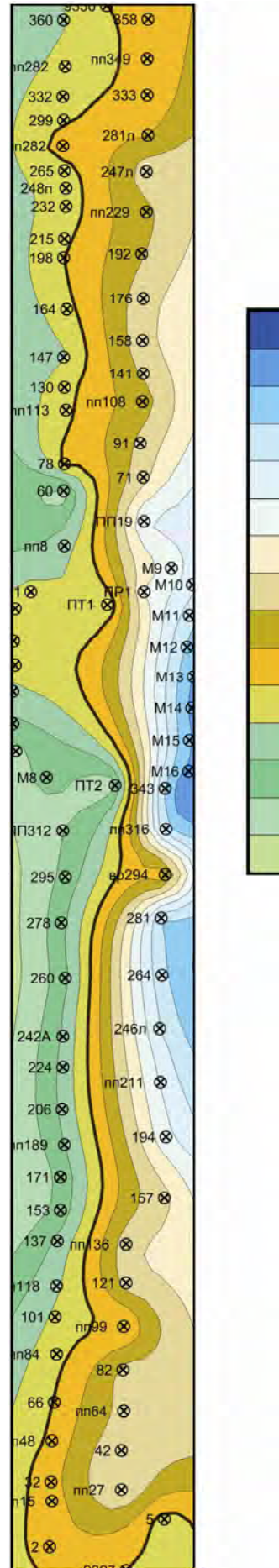


Рис. 5. Контурна карта вертикальних зміщень на дослідній ділянці

### Висновки

Підсумовуючи, зазначимо, що вертикальні деформації не стабілізувалися, продовжуються, у зв'язку з чим необхідно продовжувати спостереження за цією спорудою протягом всього періоду експлуатації. Особливу увагу слід звернути на встановлення впливу гірничих робіт на деформацію порід, у межах яких розташований соціально значущий для Кривбасу об'єкт – “Швидкісний трамвай”.

### Література

1. Исследование деформаций скоростного трамвая г. Кривой Рог / Отчет о НИР. – Днепропетровск: ДУЖТ, 2009. – 47 с.
2. Куліковська О. Є. Маркшейдерсько-геодезичний моніторинг швидкісного трамваю м. Кривого Рогу – запорука безпеки його експлуатації / О. Є. Куліковська, В. Д. Сидоренко, І. С. Паранько // Вісник Криворізького технічного університету. – 2008. – Вип. 22. – С. 37–41.
3. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.normload.ru/SNiP/Data1/2/2015/index.html>.

### Оцінка розвитку небезпечних деформаційних процесів при експлуатації лінії швидкісного трамваю Кривого Рогу в районі станції “Майдан Артема”

О. Куліковська

Викладено результати проведення дослідно-експериментальної роботи геодезичним та інженерно-геологічним методами щодо оцінки розвитку деформаційних процесів на ділянці розміщення станції “Майдан Артема” швидкісного трамваю Кривого Рогу. Встановлено суттєвий вплив гірничих робіт на деформацію порід, у межах яких розташований

соціально значущий для Кривбасу об'єкт – “Швидкісний трамвай”. Деформаційні процеси не стабілізувалися, тому рекомендується спостереження продовжити.

### Оценка развития опасных деформационных процессов при эксплуатации линии скоростного трамвая Кривого Рога в районе станции “Площадь Артема”

О. Куликовская

Представлены результаты проведения опытно-экспериментальной работы геодезическим и инженерно-геологическим методами оценки развития деформационных процессов на участке размещения станции “Площадь Артема” скоростного трамвая г. Кривого Рога. Установлено значительное влияние горных работ на деформацию пород, в пределах которых расположен социально значимый для Кривбасса объект – “Скоростной трамвай”. Деформационные процессы не стабилизировались, поэтому рекомендуется продолжить наблюдения.

### Assessment of hazardous deformation processes in the operation of high-speed tram line Krivoy Rog near the station “Artem’ Square”

O. Kulikovska

Presents the results of experimental work geodetic and engineering-geological estimation methods of development of deformation processes in the area of the station “Artem’ Square” of fast tram, Krivoy Rog. Installed a significant impact of mining on the deformation of rocks, within which is a socially important for Kryvbas object – “Speed tram”. Deformation processes is not stabilized, so it is recommended that monitoring continue.

36th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE)

The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment

11-15 May 2015, Berlin, Germany

[www.isrse36.org/welcome](http://www.isrse36.org/welcome)