

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-2-66-51>

УДК 624.1

Стовпник С.М., Ган А.Л., Шайдецька Л.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ФОРМУВАННЯ СТІЙКОСТІ ҐРУНТОВОГО МАСИВУ НАВКОЛО ТУНЕЛІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ

Анотація. Проаналізовано інженерно-геологічні умови ґрунтових масивів. В лабораторних умовах досліджено зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів, закріплених хімічними розчинами. Встановлено характер поведінки закріпленого ґрунтового масиву навколо тунелю мілкового закладання. За допомогою програмного комплексу «Midas GTS» проведено комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану масиву ґрунту під час проведення технологічних процесів спорудження тунелів мілкового закладання у природному ґрунтовому масиві та закріпленому хімічним розчином. Обґрунтовано удосконалення способу закріплення ґрунтового масиву під час будівництва перегінного тунелю метрополітену хімічним закріпленням.

Ключові слова: ґрунтовий масив, тунель метрополітену, хімічне закріплення, напружено-деформований стан.

Stovpnyk Stanislav, Gan Anatolii, Shaidetska Liubov

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

FORMATION OF SUSTAINABILITY OF SOIL MASSIVE INCLUDING TUNNELS OF A MULTI-PLEASURE

Summary. On the basis of the analysis of the results of computer and laboratory research in scientific work, it is necessary to develop an improvement of the method of fixing of the soil mass during the construction of the underground tunnel subway, as well as to develop a spatial mathematical model of the formation of the contour of a fixed zone with the processing of the tunnel, taking into account the emerging characteristic deformation zones. The methodological basis of the research complex consists of the analysis and generalization of the known results of practical experience in fixing the soil mass during the construction of the underground tunnel, the method of simulation of the stress-strain state of the joint work "design – soil massif" performed in the program "Midas GTS". The spatial mathematical model of the process of forming the contour of the fixed zone by a chemical method is developed. With the use of chemical fixation the precipitate decreased by almost 2 times. It has been theoretically established that during chemical fixation, the soil-tunnel system has improved the bearing capacity. The authors of the work have theoretically substantiated the mechanism of formation of strength properties of the adjacent soil mass during the implementation of chemical fixation taking into account the physical and mechanical properties of the treated media, and solving the actual scientific and practical problem of forming the bearing capacity of the tunnel bases in sandy soils due to the application of the progressive method of additional sealing, which allows using the potential bearing capacity of the soil massif, which significantly increases the technical and operational parameters three built by this method of underground structures. At the stage of designing the subway lines of shallow laying, it is necessary to take into account the processes of strengthening the soil-rich soil array that contains the overhung tunnel. This will allow the formation of the soil solidity around the tunnels of shallow laying.

Keywords: soil massif, underground subway tunnel, chemical fixation, stress-deformed state.

Постановка проблеми. В сучасному містобудуванні назріла необхідність у стрімкому освоєнні підземного простору, спорудженні унікальних підземних комплексів різного призначення та збільшенні об'ємів будівництва підземних гідротехнічних комплексів і транспортних споруд.

В більшості випадків будівництво транспортних споруд на території мегаполісів виконується у ґрунтових масивах із складними інженерно-геологічними та гідрологічними умовами.

Для відпрацювання таких ділянок необхідно забезпечити стабілізацію ґрунтового масиву, тобто створити такі умови, коли підземні роботи можна вести звичайними способами: щитовим, суцільним вибоєм, поярусною розробкою котлованів та ін.

У зв'язку з цим особливої уваги заслуговує подальше удосконалення проектування та будівництва споруд в ґрунтах із складними умовами, яке передбачає надання таким ґрунтам достатньої несучої спроможності шляхом їх закріплення.

Аналіз останніх досягнень. Аналіз раніше проведених досліджень [1; 2] показує, що в місцях перетину підземного потоку і траси тунелю можуть виникати перетоки води над перекриттям тунелю з наступним одностороннім розмиванням ґрунтової основи, що призводить до втрати поперечної стійкості споруди і, як наслідок, виникненні небезпечних концентрацій напружень в бічній і лотковій частинах обробки.

Мета роботи. Проаналізувати фізико-механічні властивості ґрунтових масивів до і після закріплення, а також за рахунок просторової математичної моделі встановити процес формування контуру закріпленої зони з обробкою тунелю із врахуванням виникаючих характерних зон деформацій.

Виклад основного матеріалу. Фундаменти будівель і споруд створюють різний силовий вплив на ґрунтову основу. Це викликає напруження в ґрунтовому масиві, під дією яких ґрунт деформується. Характер деформування ґрунтів і величина деформацій залежить від напрямку та інтенсивності внутрішніх зусиль (напружень) у ґрунті.

Розрахунок основ і фундаментів виконується з використанням відомих законів механіки ґрунтів. Дослідження ґрунтів на стиснення в лабораторних умовах проводяться в компресійних приладах – одометрах, а міцнісні властивості ґрунтів – зсувними [3; 4].

Випробування ґрунтів проводять при постійному навантаженні N доти, поки одна частина ґрунту не зрушиться щодо іншої на відстань більше 5 мм. При цьому вимірюють максимальне зусилля G_{max} , яке прикладається в ході випробувань. Як один із шляхів покращення міцнісних характеристик ґрунтів у роботі розглянуто їхнє ін'єктування за допомогою насичення хімічним розчином.

Методика випробування закріплення зразків ґрунту хімічними ін'єкційними розчинами відбувається наступним чином. У спеціально приготувані циліндри, герметично встановлені на спеціальну основу з патрубком для виходу ін'єкції, завантажують ґрунт з пошаровим ущільненням через кожні 5 см, потім циліндр зверху закривають кришкою за допомогою спеціальних стяжок. Кришка має патрубок для з'єднання з підвідним шлангом від установки, на якій є датчик для фіксування тиску у барах нагнітаючого розчину. Для запобігання зразка ґрунту від руйнування при ін'єктуванні і забезпечення рівномірного розповсюдження розчину в ґрунті, з внутрішньої сторони патрубку захищають сітками. Далі бункер заповнюють розчином, і за допомогою реостата, який створює необхідний тиск нагнітання, починають його подачу. Розчин нагнітається у ґрунт шнековим живильником під тиском в межах 1-4 атм. Максимально допустиме перевищення тиску становить 0,3 бара. Після завершення робіт по ін'єктуванні розчинів, закріплені зразки ґрунту (рис. 1) витримують при кімнатній температурі (+18°C) протягом 28 діб.

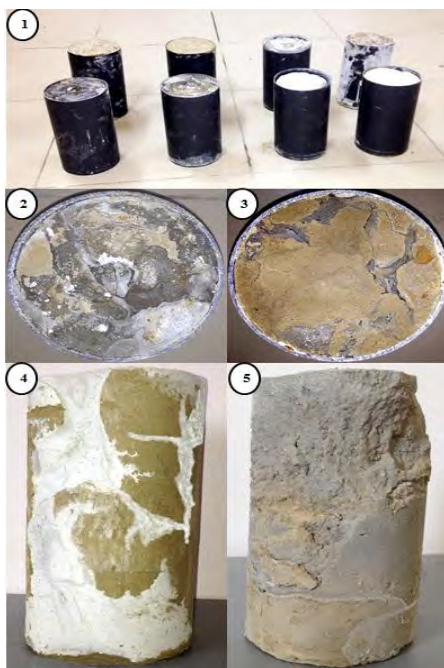


Рис. 1. Зразки закріпленого ґрунту:

1 – загальний вигляд; 2 – вид зверху; 3 – вид знизу; 4 – зовнішній вигляд; 5 – вид внутрішньої структури
Джерело: [5]

Оскільки ґрунтовий масив, як правило, знаходиться під постійним впливом підземних вод, то додатково необхідно дослідити водостійкість зразків, які були проін'єктовані хімічним розчином. Для цього їх занурювали у воду (рис. 2).

Як видно з рисунку 2, зразки занурені у воду лише на половину, що дозволяє краще спостерігати за процесом водопроникності і впливу на їх структуру. В результаті, протягом 30 хвилин від початку занурення зразків у воду, відбулося повне руйнування структури ґрунту, за рахунок того, що при замочуванні товсті плівки води викликає розмочування його структури. Загальна тривалість експерименту триває 48 годин. За цей час було визначено поведінку закріплених зразків у воді, які протягом цього періоду зберегли свою структуру і зовнішній вигляд.

Для підтвердження матеріалів лабораторних досліджень було промодельована поведінка закріпленого хімічним розчином ґрунтового масиву навколо тунелю. На рисунку 3 наведено розрахункову схему типового підземного тунелю з можливим закріпленням ґрунтового масиву навколо виробки.

Процес моделювання у прикладному пакеті програми «Midas GTS» передбачає відображення етапів спорудження тунелю за технологічними процесами, а саме по-перше – влаштування тимчасового шпунтового огородження до моменту виїмання ґрунту за заходками. По-друге – проводиться виїмка ґрунту першої заходки зі встановленням розпірки, з профілю 337 x 8 на глибину 0,2 м, потім другою заходкою з встановленням розпірки, з профілю 377 x 8 на глибину 3,20 м, а третю заходку розробляють до глибини 8-10 м. Після повної розробки ґрунту, четвертою заходкою, до проектної відмітки у шпунтовому огороженні створюються максимальні бічні напруження.



Рис. 2. Водостійкість зразків звичайних і хімічно закріплених ґрунтів:

1, 4 – піщаний ґрунт (глибина свердловини – 3,9 і 8,5 м),
2, 3, 5 – зразки ґрунту з хімічним закріпленням
Джерело: [5]

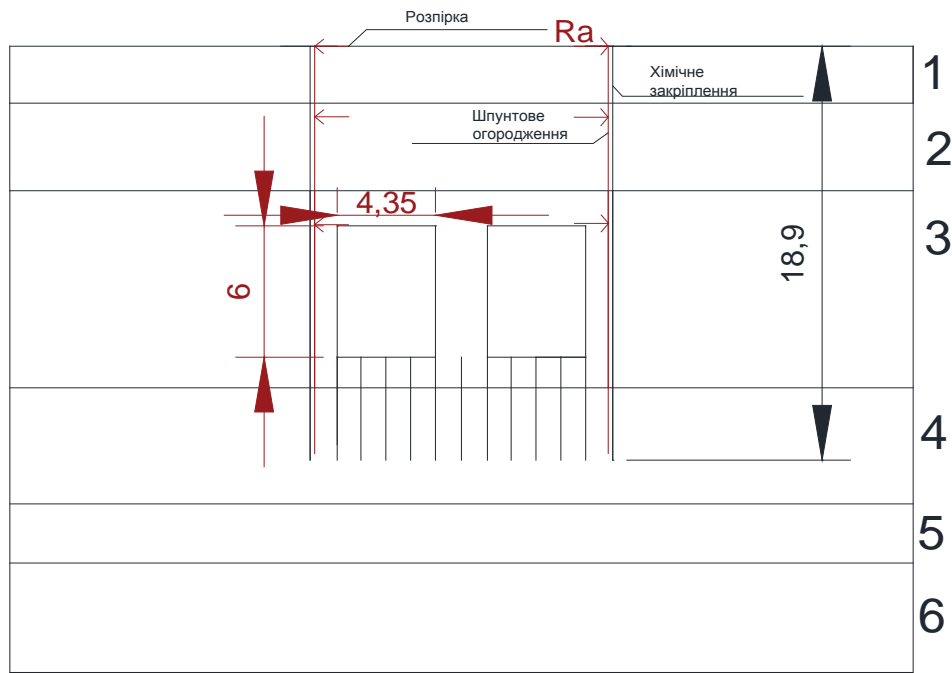


Рис. 3. Схема хімічного закріплення навколо тунелю

Джерело: розроблено авторами

На початковій стадії спорудження обробки тунелю в траншеї візуально можна побачити деформації верхньої частини тунелю, які виникають в наслідок виширання ґрунту з під тунелю під дією ґрунтових вод (рис. 4).

Наступним етапом моделювання є встановлення суцільно-секційної обробки тунелю (ССО). В результаті моделювання встановлено,

що за рахунок дії ґрунтових вод виникає виширання ґрунту з під тунелю, внаслідок чого концентруються максимальні напруження у верхній частині обробки тунелю, що призводить до виникнення деформацій (рис. 5). Після повної заливки обробки тунелю виникають деформації в центральній частині кріплення які становлять 2,6 см і у верхній частині, які становлять

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

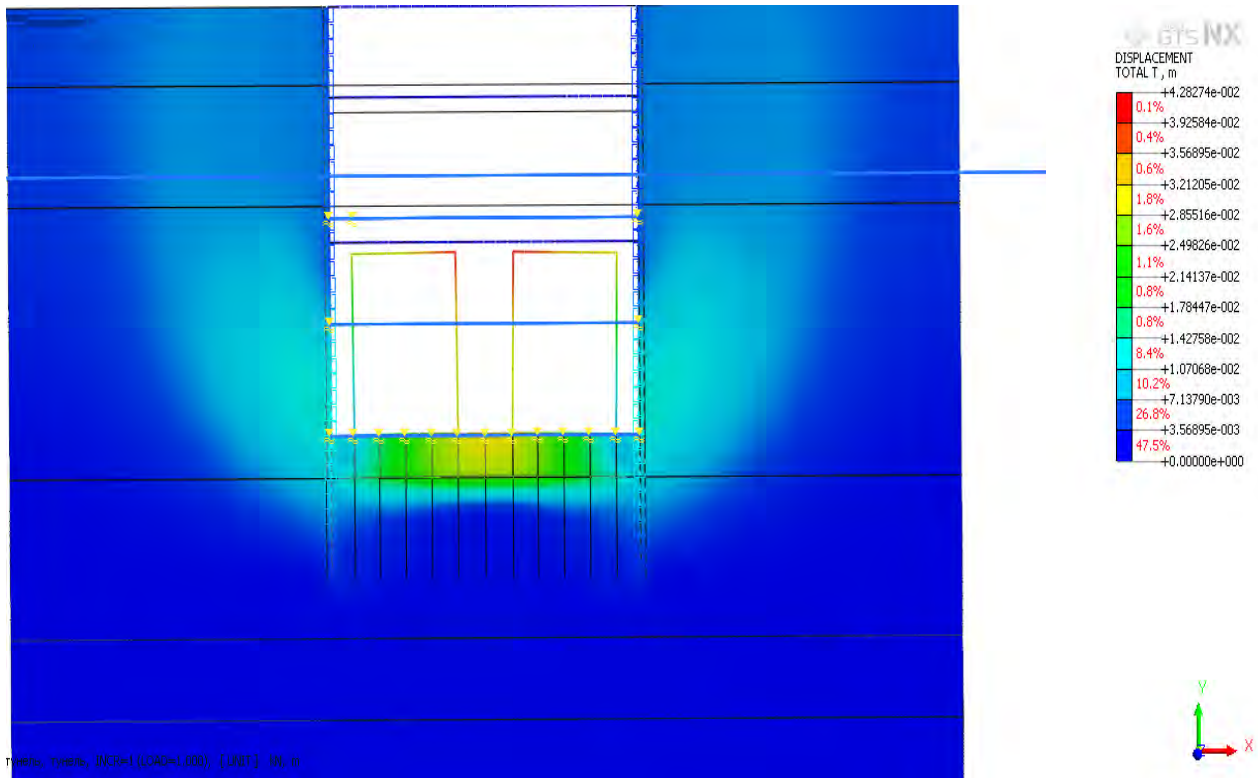


Рис. 4. Стадія спорудження обробки тунелю

Джерело: розроблено авторами

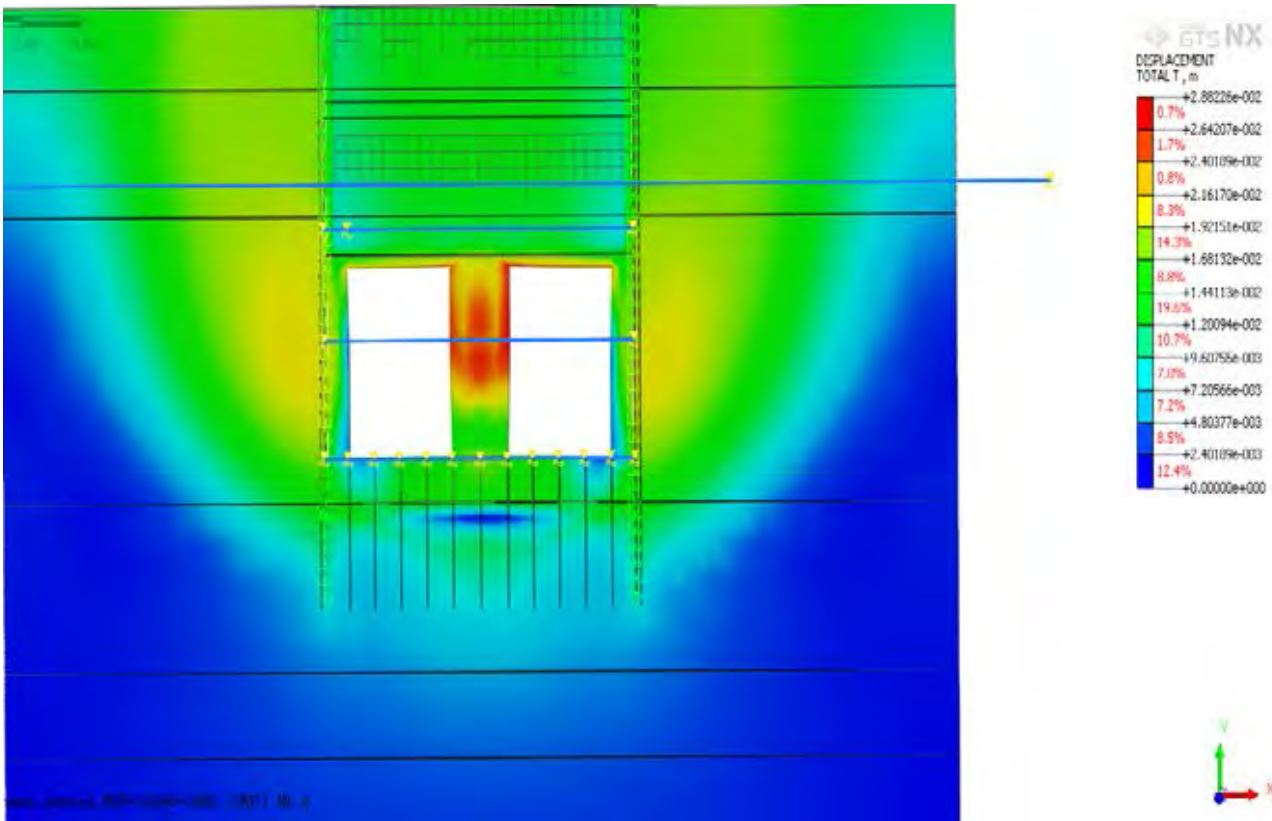


Рис. 5. Моделювання на стадії обробки тунелю метрополітену

Джерело: розроблено авторами

2,1 см. Без додаткового закріплення масиву тунель набуває значних деформацій, які перевищують нормативні і не дозволяють здати його в експлуатацію.

Як видно із рис. 5, між секціями обробки тунелів виникають критичні деформації, які не дозволяють нормальну експлуатацію тунелів. Тому одним із рішень є формування контуру закріпленої зони з обробкою тунелю із врахуванням ви-

никаючих характерних зон деформацій за допомогою хімічного закріплення.

Моделювання тунелів після проведення хімічного закріплення проводиться за тими ж самими етапами. Аналіз результатів розрахунків (рис. 6) свідчить, що хімічне закріплення ґрунтового масиву в нижній частині тунелю призводить до значного зменшення деформацій, а у деяких місцях вони зовсім не виникають.

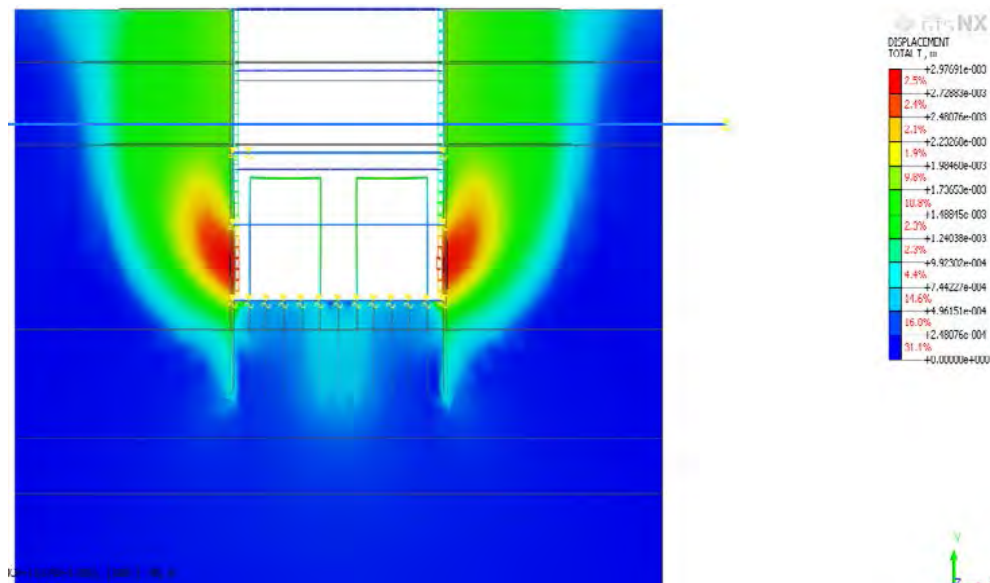


Рис. 6. Деформації навколо тунелю після хімічного закріплення ґрунтів

Джерело: розроблено авторами

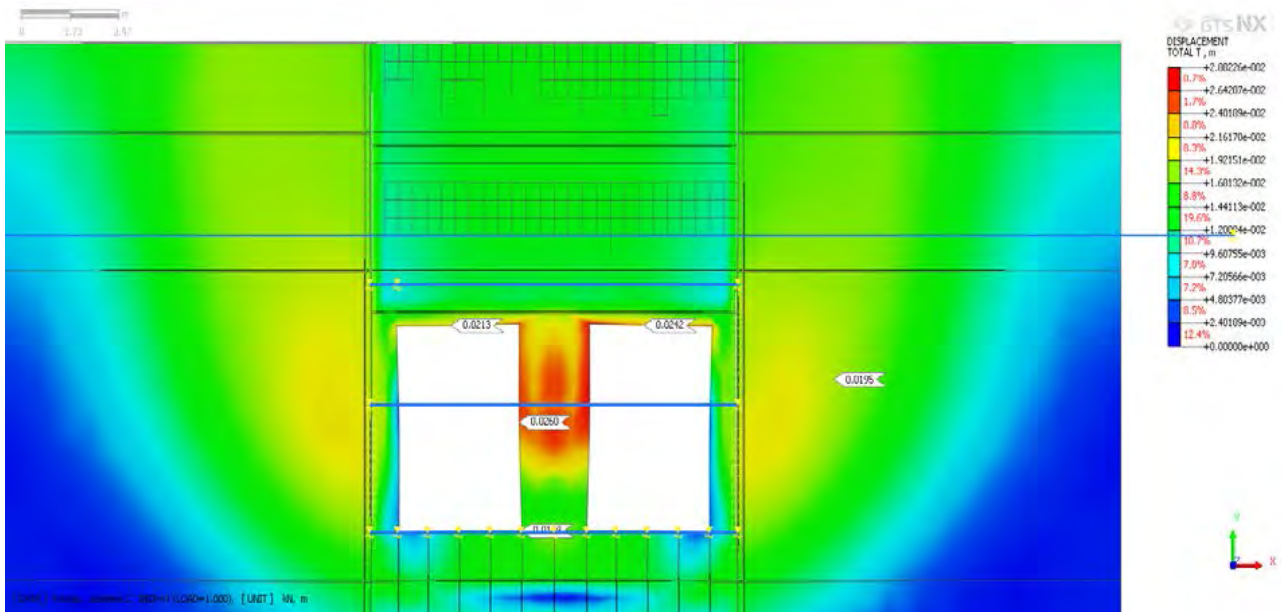


Рис. 7. Здимання основ тунелю без хімічного закріплення

Джерело: розроблено авторами

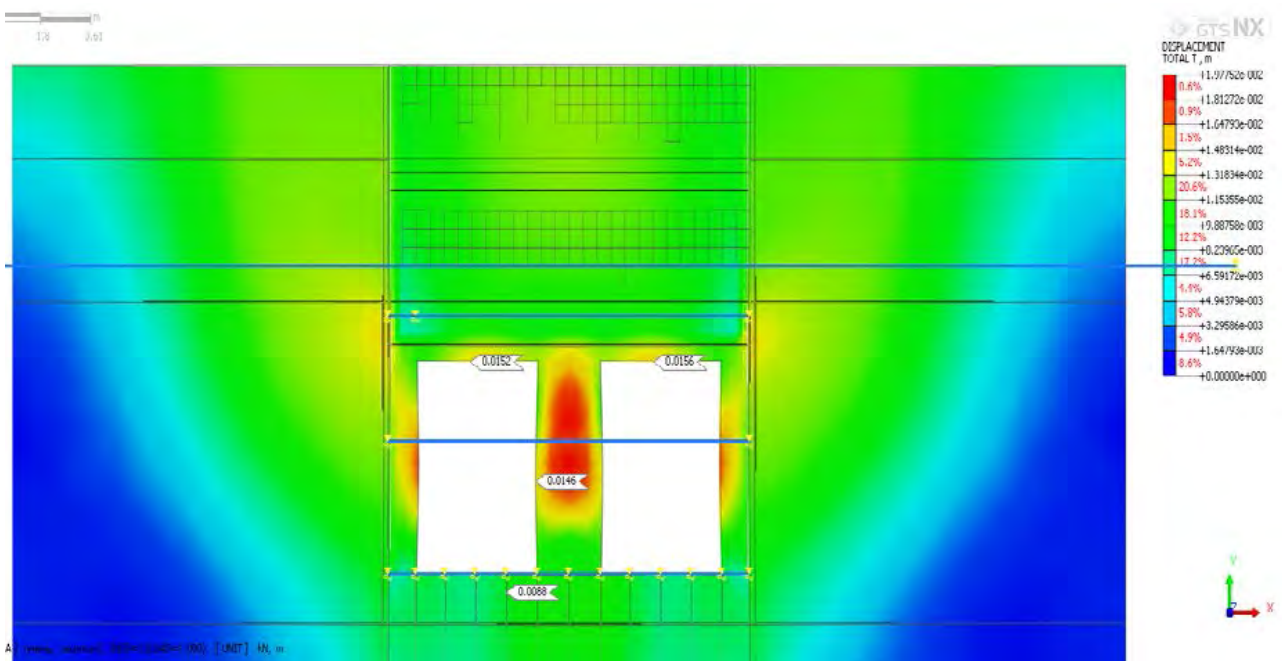


Рис. 8. Здимання основ тунелю при хімічному закріпленні ґрунтового масиву навколо виробки

Джерело: розроблено авторами

Після проведення зворотної засипки тунелю, виникають мінімальні деформації конструкції обробки.

Аналіз наведених результатів свідчить про те, що міцнісні характеристики закріпленого ґрунту змінились і ґрунт набув нових властивостей, і як наслідок деформації зменшилися практично в 2 рази з 2,6 см до 1,4 см.

Крім того, внаслідок хімічного закріплення (рис. 8) не відбувається здимання основи тунелю, як у випадку без закріплення (рис. 7).

Висновки. У ході розрахунків в програмному комплексі «Midas GTS» було визначено

деформації тунелю без закріплення ґрунтового масиву і з хімічним закріпленням ґрунтового масиву.

Порівняння отриманих результатів дослідження напружено-деформованого стану програмними модулями з певним способом зведення тунелю дозволяє відзначити зменшення інтенсивності деформацій і переміщень, яке зменшилось з 2,6 см. до 1,4 см. (2 рази) від дії навантажень у випадку хімічного закріплення, що пов'язано з перерозподілом напружень і деформацій, викликаним зміною фізико механічних властивостей ґрунтів.

Список літератури:

1. Протосеня А.Г., До Нгок Тхай. Метод прогноза напруженого состояния обделки перегонных тоннелей для инженерно-геологических условий г. Ханоя. *Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. Горное дело*. 2017. С. 145–152.
2. Стовпник С.М. Дослідження гідравлічного впливу на технологічну стійкість метро тунелю мілкого закладання в намивних масивах. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2017. № 5(71). С. 141–148.
3. Зайченко С.В. Наукові основи формування геотехнічних властивостей приконтурного шару і обробки тунелів роликовим ущільненням : Дисертація. Київ, 2014.
4. ДСТУ Б В.2.1-23:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації.
5. Звіт по геологорозвідувальній роботі ділянок м. Києва / (П)-КР-02 / ТОВ «МЕДІНЖСЕРВІС». 2016. Додаток Б-К.

References:

1. Protosenya A.G., Doh Ngok Thohi (2017). Metod prognoza napryazhennogo so-stoyaniya obdelki peregonnykh tonneley dlya inzhenerno-geologicheskikh us-loviy g. Khanoya [Method of prediction of the tense state of fissile discharge tunnels for engineering-geological conditions in the city of Hanoi]. *Izvestiya Tula State University. Earth science. Mining business*, pp. 145–152.
2. Stovpnyk S.M. (2017). Doslidzhennya hidravlichnoho vplyvu na tekhnolohichnu stiykist' metro tunelyu milkoho zakladannya v namyvnykh masyvakh [Investigation of the hydraulic influence on the technological stability of the underground tunnel of shallow laying in alluvial massifs]. *Science and progress of transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, no. 5(71), pp. 141–148.
3. Zaychenko S.V. (2014). Naukovi osnovy formuvannya heotekhnichnykh vlastyvostey prykonturnoho sharu i obrobky tuneliv rolykovym ushchil'nennyam [Scientific fundamentals of formation of geotechnical properties of the contour layer and processing of tunnels by roller seals]. Dissertation. Kyiv.
4. DSTU B V.2.1-23:2009. Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennya koefitsiyenta fil'tratsiyi [Basics and foundations of buildings and structures. Soils Methods of laboratory determination of filtration coefficient].
5. Zvit po heolohorozviduval'niy roboti dilyanok m. Kyieva (2016) [Report on exploration of the areas of Kiev / (IG)-KR-02 / LLC "MEDINZHSERVIS". Appendix B-K.