

Геомеханічне обґрунтування ефективності роликового ущільнення приконтурного шару підземних виробок



С. В. ЗАЙЧЕНКО,
канд. техн. наук
(НТУ України «КПІ»)

Досліджено поведінку масиву, техногенно перетвореного методом роликового ущільнення, шляхом прогнозування розмірів зміщення породного контуру від постійних навантажень. Напружено-деформований стан прилеглих шарів і ґрунтового масиву визначали варіативними чисельними методами, що дало змогу встановити зміщення покрівлі виробки. Доведено, що використання роликового ущільнення контуру виробки дає право підвищити категорію стійкості і зменшити витрати на обробку підземної виробки.

Ключові слова: напружено-деформований стан, обробка виробки, роликове ущільнення.

Контактна інформація: zstefv@gmail.com

Освоєння підземного простору великих міст України, збереження поверхневих площ, розбудова підземної транспортної інфраструктури – важливі пріоритетні напрями будівництва, але об'єктивно вони вирізняються високими витратами і складністю технологій. Тому основним напрямом розв'язання низки завдань, які становлять комплексну проблему освоєння підземного простору, є розробка нових матеріало-, праце- та ресурсозберігальних технологій будівництва підземних споруд.

Основним концептуальним принципом, за яким можна успішно використовувати нові технології формування геотехнічних властивостей ґрунтових масивів, є принцип взаємодії обробки підземної споруди із навколишнім перетвореним гірським масивом, тобто підвищення несучої здатності постійного кріплення внаслідок посилення міцності прилеглих масивів. Підвищення несучої здатності й стійкості підземних гірничих виробок, поліпшення техніко-експлуатаційних показників кріплення можливі завдяки використанню потенційної здатності матеріалів примножувати міцність під час якісного ущільнення.

Використати позитивні здобутки сучасних методів формування геотехнічних властивостей гірських масивів і поліпшити якісні показники обробки вироб-

ки можна, якщо застосувати більш технологічні способи, зокрема технології роликового ущільнення. Сутність технології полягає у створенні в оброблюваному середовищі складного напруженого стану, який сприяє появі зон розвиненої пластичної деформації, що є передумовою протікання процесу консолідації з найменшими енергетичними витратами і високими показниками ущільнення.

Експериментальні дослідження процесу роликового формування геотехнічних властивостей приконтурних ґрунтових шарів підземної виробки дали змогу підтвердити теоретичні висновки щодо встановленого розподілу напружень у контактній зоні

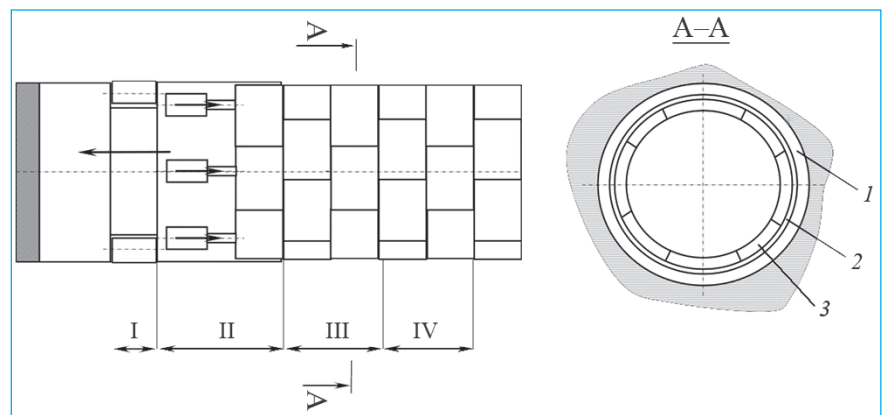


Рис. 1. Схема утворення кріплення з обробкою приконтурного ґрунтового шару: 1 – оброблений ґрунт; 2 – тампонований піщаний бетон; 3 – збірне залізобетонне кріплення.

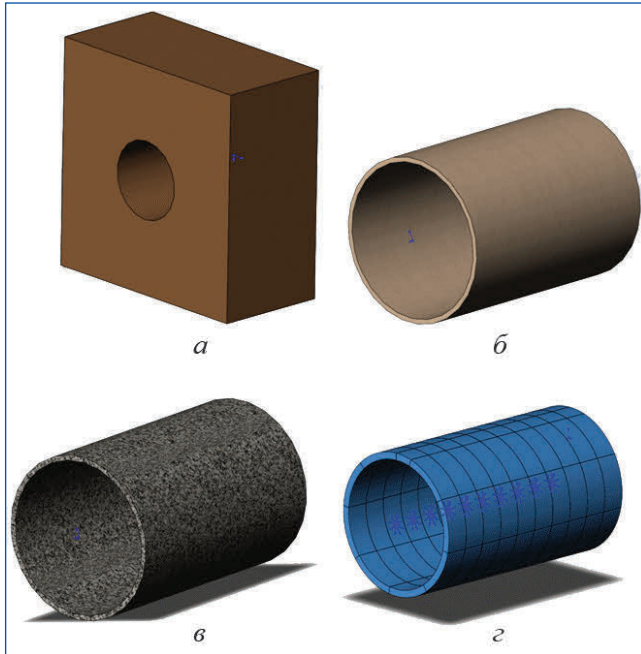


Рис. 2. Геометричні моделі елементів обробки: *a* – ґрунтовий масив; *б* – ущільнений ґрунтовий шар; *в* – бетон закріпного простору; *г* – збірна обробка.

і розробити принципово нові схеми спорудження виробки за вказаним способом (рис. 1). Комбіноване пошарове кріплення може бути утворене обробкою прилеглою до виробки ґрунтового шару роликвою формувальною секцією I (див. рис. 1).

Прохідницький щит переміщується за допомогою секції щитових домкратів II, які спираються на збірне залізобетонне кріплення. Наступними етапами будівництва є первинне III і контрольне IV нагнітання цементно-піщаного і цементних розчи-

нів у простір між збірним кріпленням і прилеглим шаром обробленого ґрунту. В результаті реалізації цієї схеми утворюються три шари кріплення: обробленого ґрунту, тампонованого піщаного бетону та збірного залізобетонного кріплення.

Розв'язання деформаційних задач геомеханіки під дією різних типів навантаження з урахуванням контактних особливостей взаємодії кріплення з прилеглим масивом на основі припущення лінійного зв'язку деформації і напружень дає змогу використати методи теорії пружності [1–3]. Серед численних методів розв'язання задач теорії пружності найбільш досконалим є метод скінченних елементів (МСЕ) [4–6], що зумовлює появу низки потужних інженерних зарубіжних (SolidWorks, PLAXIS, Abaqus, Ansys, Zsoil) і вітчизняних програмних комплексів (ПК «Ліра», ПК «Мономах»). Розвиток математичного апарату МСЕ і розрахункових засобів дає право розв'язувати тривимірні задачі геомеханіки в нелінійній постановці.

Одним з інтегральних критеріїв, які характеризують категорію стійкості, є осадка поверхні покривлі незакріпленої виробки під час дії постійних навантажень (СНиП II-94-80), що дає змогу визначити ефективність роликвого ущільнення прилеглої контуру виробки, використовуючи загальноприйняту класифікацію.

Для обраного варіанта обробки приконтурного шару побудовано геометричну модель (рис. 2) у програмному модулі SolidWorks, Simulation. Геометрична модель (зображення реальної тривимірної задачі, яка визначається розмірами утворених нових шарів ґрунту, бетону і збірного кріплення) має чітко розподіляти ґрунти окремими шарами,

конструктивними елементами обробки, етапами будівництва і навантаження. Визначення реальних абсолютних значень параметрів напружено-деформованого стану методом скінченних елементів ускладнюється потребою ідеалізації властивостей елементів розрахункових схем, зміною реальних геологічних умов і навантажень як уздовж траси, так і в часі, що унеможливорює отримання достовірних значень напружень і деформацій і дає можливість виконати лише якісний аналіз шляхом по-

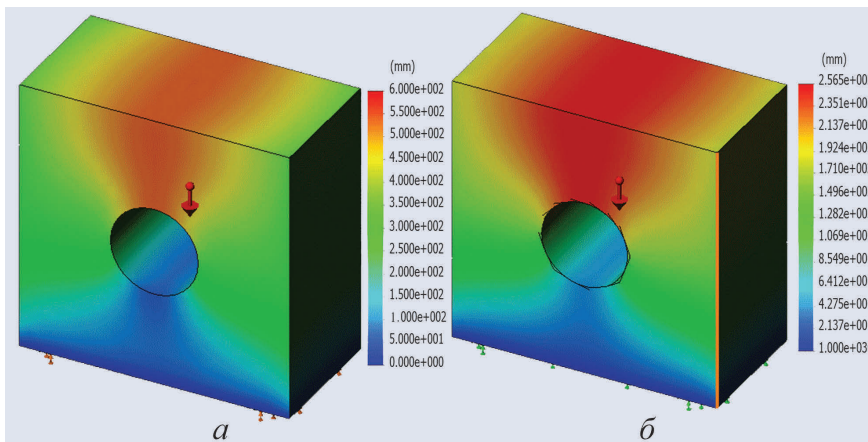


Рис. 3. Схема розподілу переміщень ґрунтового масиву без ущільнення (*a*) і з ущільненням (*б*) прилеглої контуру.

рівняння отриманих рішень при різних способах спорудження виробки.

З метою визначення осадки поверхні покрівлі незакріпленої виробки досліджено прилеглий ґрунтовий масив при постійних навантаженнях без ущільнення і з роликівим ущільненням прилеглої контуру МСЕ за допомогою програмного комплексу SolidWorks (рис. 3).

Результати дослідження поведінки ґрунтового масиву відносно його стійкості підтверджують належність ґрунтів до категорії дуже нестійких осадових порід, які потребують суттєвих заходів щодо їх закріплення (див. рис. 3, а). Застосування роликівим ущільнення прилеглої контуру гірничої виробки значною мірою змінює розподіл переміщень у бік зменшення (на 90 %). Про це свідчить зменшення переміщення покрівлі з 557 до 250 мм, що переводить оброблений ґрунт з дуже нестійкого (IV категорія) у нестійкий (III) і дає змогу аналогічно торкретувати поверхні виробок, що супроводжується зміною властивостей породи, та зменшити на 50 мм товщину обробки.

Зменшення товщини обробки для розглянутого типу має зекономити $0,95 \text{ м}^3$ бетону на 1 м спорудження виробки, що в поєднанні із застосуванням жорстких сумішей (В/Ц = 0,3) для закріпного простору дасть сумарний економічний ефект у понад 2000 грн на 1 м спорудження (у цінах на серпень 2014 р.) лише за рахунок економії матеріалів (без урахування накладних витрат на виготовлення і транспортування збірної залізобетонної кріплення).

Недолік розрахункової схеми програмного модуля полягає у неможливості задання компонент початкового поля напружень, що призводить до максимальних переміщень на поверхневих площах, а не переміщень покрівлі. Це припустимо, якщо аналіз поведінки ґрунтового масиву буде досить якісним.

Висновки. Запропонований спосіб роликівим ущільнення відповідає вимогам неперервного процесу формування, коли зони, в яких відбувається формування, можуть пересуватися разом з робочими органами формувальної секції прохідницького щита відносно ґрунтового масиву, що дає змогу утворювати монолітний відформований шар обробки. Формувальні секції прохідницького щита виконують всі або частину операцій, які входять у технологічний процес зведення обробки вироб-

ки: подавання сумішей в зону формування, рівномірний її розподіл і калібрування шару, попереднє і остаточне ущільнення матеріалів обробки виробки, опорядження лицьової поверхні. Ефективна глибина ущільненого шару становить 250–300 мм.

Перевагою неперервної технології є можливість повної механізації процесу пошарового ущільнення, низька металомісткість обладнання, високі показники якості монолітної обробки, соціальна привабливість виробництва в цілому.

Аналіз варіантів параметрів формованих середовищ і параметрів силового впливу свідчить про те, що найбільші значення тисків і глибин ущільнення при найменших масогабаритних параметрах роликівим органів виникають за умови, коли товщина оброблюваного шару і радіус робочого органа однакові.

Під час формування приконтурного ґрунтового шару спостерігається зменшення його деформацій на 90 %, що пов'язано зі збільшенням площі контактуючої поверхні і міцнісних параметрів прилеглих ґрунтів внаслідок перетвореного роликівим методом шару ущільненого ґрунту, що сприятиме зменшенню осадки гірничої виробки в комплексі провадження будівельних робіт з використанням вказаного способу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Круковский А. П. Исследование напряженного состояния горного массива вокруг выработки в зоне ее сопряжения с выработанным пространством лавы / А. П. Круковский // Геотехническая механика. – 2010. – № 91. – С. 239–244.
2. Круковский А. П. Исследование напряженного состояния массива вокруг выработки с анкерной крепью при проходке буровзрывным способом / А. П. Круковский, В. В. Круковская // Наук. вісник НГУ. – 2012. – № 1. – С. 34–39.
3. Круковский О. П. Обгрунтования параметров та умов застосування анкерного кріплення на вугільних шахтах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.09 / О. П. Круковский. – Дніпропетровськ, 2005. – 22 с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред: научное издание / О. Зенкевич, И. Чанг: [ред. Ю. К. Зарецкий; пер.: О. П. Троицкий, С. В. Соловьев]. – М.: Недра, 1974. – 240 с.
5. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А. Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
6. Баклашов И. В. Геомеханика: в 2-х т. (доп.) / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия, А. Н. Шашенко, В. Н. Борисов. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – Т. 2: Геомеханические процессы / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия, В. Н. Борисов. – 249 с.