

3. *Луговой П. З., Мукоид В. П., Мейш В. Ф.* Динамика оболочечных конструкций при взрывных нагрузках. – К.: Наук. думка, 1991. – 280 с.
4. *Перцев А. К., Платонов Э. Т.* Динамика оболочек и пластин (нестационарные задачи). – Л.: Судостроение, 1987. – 316 с.
5. *Кеч В., Теодореску П.* Введение в теорию обобщенных функций с приложениями в технике. – М.: Мир, 1978. – 518 с.
6. *Jones I. P., Bhuta P. O.* Response of cylindrical shells to moving loads // Trans ASME. – 1964. – E 31, № 1. – P. 105–111.
7. *Вольмир А. С.* Нелинейная динамика пластин и оболочек. – М.: Наука, 1972. – 432 с.
8. *Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф., Марголин Г. Г.* Прочность и деформативность стеклопластиков при двухосном сжатии. – К.: Наук. думка, 1971. – 153 с.

УДК 624.191.24

## УРАХУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СИСТЕМИ КРІПЛЕННЯ–МАСИВ У РОЗРАХУНКАХ ТРИСКЛЕПІНЧАСТИХ СТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНУ

*В. І. Петренко, канд. техн. наук (корп. «Укрметротунельбуд», Київ),  
В. Д. Петренко, докт. техн. наук, О. Л. Тют'якін, асп. (ДТУ залізничного  
транспорту, Дніпропетровськ)*

*Обоснована можливість застосування структурно-механічних моделей ґрунту при розрахунку системи кріплення–масив. Найбільш раціональним методом розрахунку постійної обделки станцій метрополітену глибокого закладення і інших підземних споруджень є метод кінцевих елементів, що дозволяє розраховувати підземні споруди з урахуванням реологічних властивостей ґрунтів, складних інженерно-геологічних умов, а також технологічних особливостей виконання робіт.*

Розвиток транспортних систем великих міст України нерозривно пов'язаний з будівництвом складних об'єктів метрополітену. До таких об'єктів належать станції глибокого закладення пілонного та колонного типів.

При будівництві перегінних тунелів і станцій глибокого закладення здійснено практично повний перехід від збірних чавунних обробок до залізобетонного кріплення. У складних інженерно-геологічних умовах, зокрема при проходці виробок великого перерізу (наприклад, станційних тунелів у спонділових глинах у Києві), застосування залізобетонних обробок породжує комплекс проблем, що вимагає свого розв'язання. Особливо актуальними є

проблеми дослідження роботи станцій глибокого закладення пілонного типу у взаємодії з породним масивом.

Існують дві групи методів дослідження взаємодії такого типу. У першій групі взаємодія кріплення з масивом досліджується методами механіки твердого деформівного тіла. При цьому використовується теорія загальних деформацій і розраховуються вісесиметричні кільцеві конструкції. Друга група методів базується на теорії місцевих деформацій і є менш точною порівняно з першою групою. Однак методи першої групи трудомісткі, що є великим недоліком при інженерних розрахунках. Крім того, внаслідок обмежень у розрахунках конструкцій не кільцевих і не підковоподібних обрисів ці методи практично неможливо застосувати для розрахунку трисклепінчастих станцій метрополітену. Тому в більшості випадків перевага надається другій групі методів, оскільки в них знімаються обмеження на розрахунок не кільцевих і несиметричних конструкцій. Крім того, ці методи простіші, менш трудомісткі і відповідають сучасним вимогам щодо точності, надійності та достовірності.

Методи другої групи ґрунтуються на розгляді пружної основи, що впливає з умови взаємодії системи кріплення–масив, як пружного відпору, на основі теорії місцевих деформацій (основа Фусса–Вінклера). Пружна основа для дослідження замінюється стержнями еквівалентної жорсткості. Пропозиції Бодрова–Горелика і Бодрова–Матері [1] по урахуванню пружного відпору застосовувались для визначення його границь та інтенсивності. Пізніше ці пропозиції були спрощені Вахуркіним і Друккером [2]. Ці автори стверджують, що пружний відпір діє лише на певних ділянках системи (боках виробки), а знизу замінюється реакцією породи, що врівноважує вертикальний гірський тиск. Однак такі спрощення у поєднанні з приблизною формою пружного відпору приводять до неточних результатів.

Відома також гіпотеза О. Е. Бугайової [3]. Однак усі пропозиції, що вводяться при дослідженні пружного відпору, перестають відповідати дійсності у випадку, коли симетрична конструкція перегінного тунелю із симетричним навантаженням замінюється симетричною конструкцією тунелю станції пілонного чи колонного типу з несиметричним навантаженням.

У цьому випадку розрахунок ускладнюється через неоднорідність розрахункової схеми, яка має вигляд кількох простих плоских або однієї складної просторової схеми. Причому найскладнішою для дослідження є розрахункова схема пілонної станції у її прорізній частині. У нових задачах розрахунку системи кріплення–масив піддається деякому критичному осмисленню гіпотеза пружної основи Фусса–Вінклера [4, 5] через такі міркування:

1) пружна вінклерівська основа базується на гіпотезі місцевих деформацій, яка є менш точною порівняно з гіпотезою загальних деформацій;

2) з появою потужних розрахункових комплексів типу StructureCAD, ANSYS, PLAXIS та ін., які ґрунтуються на методі скінченних елементів (МСЕ), застосування вінклерівської основи стає недоцільним, оскільки з'являється можливість моделювання масиву плоскими та об'ємними скінченними елементами.

Основним постулатом МСЕ є спільний розв'язок при визначенні напружень і деформацій у всіх точках системи. Звідси випливає, що гіпотеза місцевих деформацій, застосована з використанням МСЕ, автоматично стає гіпотезою загальних деформацій, оскільки деформації всіх точок розрахункової схеми є взаємозалежними і розраховуються спільно. У цьому полягає відмінність запропонованого нами підходу від методик Метродіпротранса, ВНДМІ, ЛГІ, які ґрунтуються на залежності між інтенсивністю пружного відпору і деформацією в точці. Причому деформація в точці не залежить від деформацій в інших точках системи. У МСЕ враховуються деформації всіх точок, які розглядалися як загальна суцільна система.

При розрахунках підземних споруд із застосуванням МСЕ однією з головних є проблема розроблення спеціальних скінченних елементів, за допомогою яких можна моделювати властивості ґрунтів [5]. Крім того, важливо також враховувати технологічні особливості проведення робіт. Зараз ведуться дослідження з модернізації пружної основи, яка базується на стержневих моделях масиву і кріплення. Це забезпечить можливість урахування реологічних властивостей гірських порід і проведення пружно-пластичних розрахунків.

На основі виконаних досліджень була запропонована нова розрахункова схема бічного тунелю станції пілонного типу (рис. 1), у якій за розробленою методикою було визначено нове положення нульових точок.

Пружна основа була замінена стержнями еквівалентної жорсткості, площа яких визначається з виразу

$$A = \frac{k'l}{En}, \quad (1)$$

де  $k'$  – приведений коефіцієнт пружного відпору;  $l$  – довжина еквівалентного стержня,  $l = 1$  м;  $E$  – модуль пружності матеріалу конструкції;  $n$  – кількість стержнів.

Приведений коефіцієнт пружного відпору  $k'$  знаходиться за формулою

$$k' = kb, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт пружного відпору;  $b$  – одинична довжина конструкції уздовж її осі,  $b = 1$  м.

Головними достоїнствами заміни пружної основи стержнями еквівалентної жорсткості є:

- 1) відносна простота застосовуваної моделі;
- 2) можливість точного визначення зон пружного відпору в складних конструкціях (наприклад, у бічному тунелі станції колонного чи пілонного типу);
- 3) можливість зміни ґрунтових умов лише за рахунок зміни площі стержня еквівалентної жорсткості.

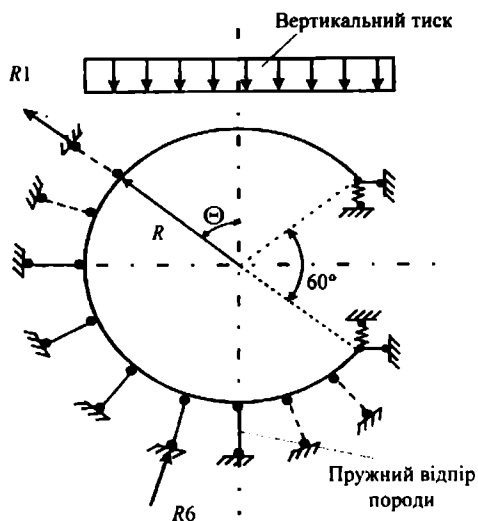


Рис. 1. Схема до розрахунку бічного станційного тунелю методом скінченних елементів

Дослідженнями визначено нову форму епюри інтенсивності пружного відпору (рис. 2), виконано просторовий розрахунок і встановлено невідповідність плоских розрахункових схем просторовій.

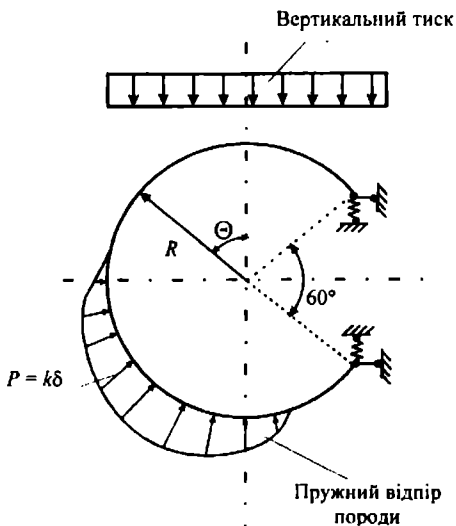


Рис. 2. Форма епюри інтенсивності пружного відпору згідно з пропозицією авторів

Отримані результати (різниця між моментами складає 26,2...149 %, між нормальними силами – 2,8...179,3 %) дозволяють зробити висновок, що при розрахунку реальних пілонних станцій за допомогою плоских схем отримують завищені значення моментів, що веде до збільшення перерізу обробок, перевитрати арматури, подорожчання будівництва.

Важливе значення має зв'язок розрахункової схеми з реологічними властивостями навколишнього масиву.

Дослідженнями доведена можливість застосування структурно-механічних моделей ґрунту при розрахунку системи кріплення–масив. Зараз ні в кого не викликає сумнівів, що найбільш раціональним методом розрахунку постійного кріплення станцій метрополітену глибокого закладення та інших підземних споруд є МСЕ, який дозволяє розраховувати підземні споруди з урахуванням реологічних властивостей ґрунтів, складних інженерно-геологічних умов, а також технологічних особливостей проведення робіт.

1. *Мостков В. М., Орлов В. А., Степанов П. Д. и др.* Подземные гидротехнические сооружения. Под ред. В. М. Мосткова. – М.: Высшая школа. – 1986. – С. 207–208.

2. *Волков В. П., Наумов С. Н., Пирожкова А. Н. и др.* Тоннели и метрополитены / Под ред. В. П. Волкова. – М.: Транспорт, 1975. – 552 с.

3. *Бугаева О. Е.* Проектирование обделок транспортных тоннелей. – Л.: изд. ЛИИЖТ, 1966. – 75 с.

4. *Фотиева Н. Н.* Расчет обделок тоннелей некругового поперечного сечения. – М.: Стройиздат, 1974. – 240 с.

5. *Юркевич П.* Геомеханические модели в современном строительстве / Подземное пространство мира. – 1996. – № 1–2. – С. 10–31.

УДК 539.377:536.12

## **О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОУПРУГИМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ В ДЕФОРМИРОВАННОМ МАССИВЕ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ ЭНДОГЕННОМ ПОЖАРЕ**

*Т. Рембеляк, докт.-инж.*

*(Краковская горно-металлургическая академия, РП)*

*З допомогою відомих теплофізичних параметрів можна розв'язати задачі управління термопружними напруженнями та переміщеннями в деформованому масиві гірських порід при ендогенній пожежі і запобігти небезпеці підземної пожежі.*