УДК 624.191.8.042/.044:624.01

Математичне моделювання впливу рухомого складу на конструкцію пілонної станції метрополітену

Тютькін О. Л.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, Україна

Анотація

В статті наведені результати дослідження впливу метропоїзду на напружено-деформований стан конструкцій станції метрополітену пілонного типу глибокого закладення.

Загальною основою міцносного аналізу конструкцій підземних споруд є дослідження напружено-деформованого стану (НДС) і аналіз результатів при експлуатаційних і будівельних навантаженнях, які регламентуються Державними будівельними нормами (ДБН). Але для в практичних розрахунків застосовуються методики розрахунків елементів станцій метрополітену, які базуються на побудові плоских розрахункових схем конструкції і інтерпретації навколишнього масиву з деякими припущеннями, які спрощують його реальну поведінку. Такі принципи моделювання не дозволяють відобразити адекватно реальному об'єкту його властивості в моделі і, відповідно, вірно визначити НДС, оскільки не враховується такий важливий чинник, як просторовість роботи і реальна взаємодія між обробкою станції і навколишнім масивом [1, 2].

Слід також відзначити, що розвиток розрахунків станцій метрополітену і інших складних підземних споруд найбільш повно розвивається в задачах статичної постановки [3, 4]. Це пояснюється тим, що рішення навіть таких задач, в яких враховуються чинники взаємодії конструкції і масиву, складні конфігурації станційних конструкцій з вирізами і стрибкоподібною зміною жорсткостей, нелінійна поведінка ґрунтів і порід, дуже складно в математичному плані. Розвиток чисельних методів, зокрема методу скінченних елементів (МСЕ) [1, 5, 6], дав можливість проведення не тільки статичних розрахунків, але і деяких видів динамічного аналізу конструкцій підземних споруд, що раніше було практично неможливо і доводиться дуже малим об'ємом робіт в цій області.

Надане дослідження проводиться для того, щоб з'ясувати вплив рухомого складу на загальний стан конструкції пілонної станції та її елементів. Урахування дії метропоїзду відтворено в нормативних документах, наприклад, в ДБН В.2.3-7-2003. Метрополітени, п. 5.44. [7]. Але розрахунки впливу рухомого складу залишаються дещо перевірочними, так як однозначно відомо, що вага составу складає не більш ніж 5…10 % від дії гірського тиску. Але у вищезгаданому ДБН розрахунки на вплив рухомого складу наведені в статичній постановці, так як рішення динамічної задачі впливу періодичного поїздного навантаження надто складне. Тому задача з'ясування впливу рухомого складу в наданій роботі також буде представлена в статичній постановці. Але слід відмітити, що вже проведені дослідження динамічних параметрів станційної конструкції (власні частоти та форми обробки станції) [8] дають змогу зробити висновок, що значень частот, які присутні при спорудженні і експлуатації метрополітену, близьких до частот власних коливань немає, тому резонансних явищ не спостерігається. Це пояснюється характером частот і самої конструкції і впливом приєднаних мас, оскільки їх величини знаходяться в низькочастотному регістрі і характерні для землетрусів.

За п. 5.44 [7] навантаження від рухомого складу метропоїзду, які діють на верхню будову колії (ВБК) нормуються таким чином:

1. Нормативне вертикальне навантаження F – 150 кН на кожну вісь.
2. Нормативне горизонтальне поздовжнє навантаження від гальмування або сили тяги – 10 % від нормативного вертикального навантаження від рухомого складу, тобто 15 кН на рівні голівки рейки.
3. Нормативне горизонтальне поперечне навантаження від ударів ходових частин – прикладене на рівні голівки рейки рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю 2 кН/м.

В подальшому дослідженні будуть враховані тільки 1-е та 2-е навантаження в комплексі, 3-е не враховується із-за незначної величини на відміну від перших двох.

Для прикладення навантажень від рухомого складу змодельоване верхня будова колії (ВБК) (рис. 2), для того щоб більш адекватно відтворити систему впливу метропоїзду.

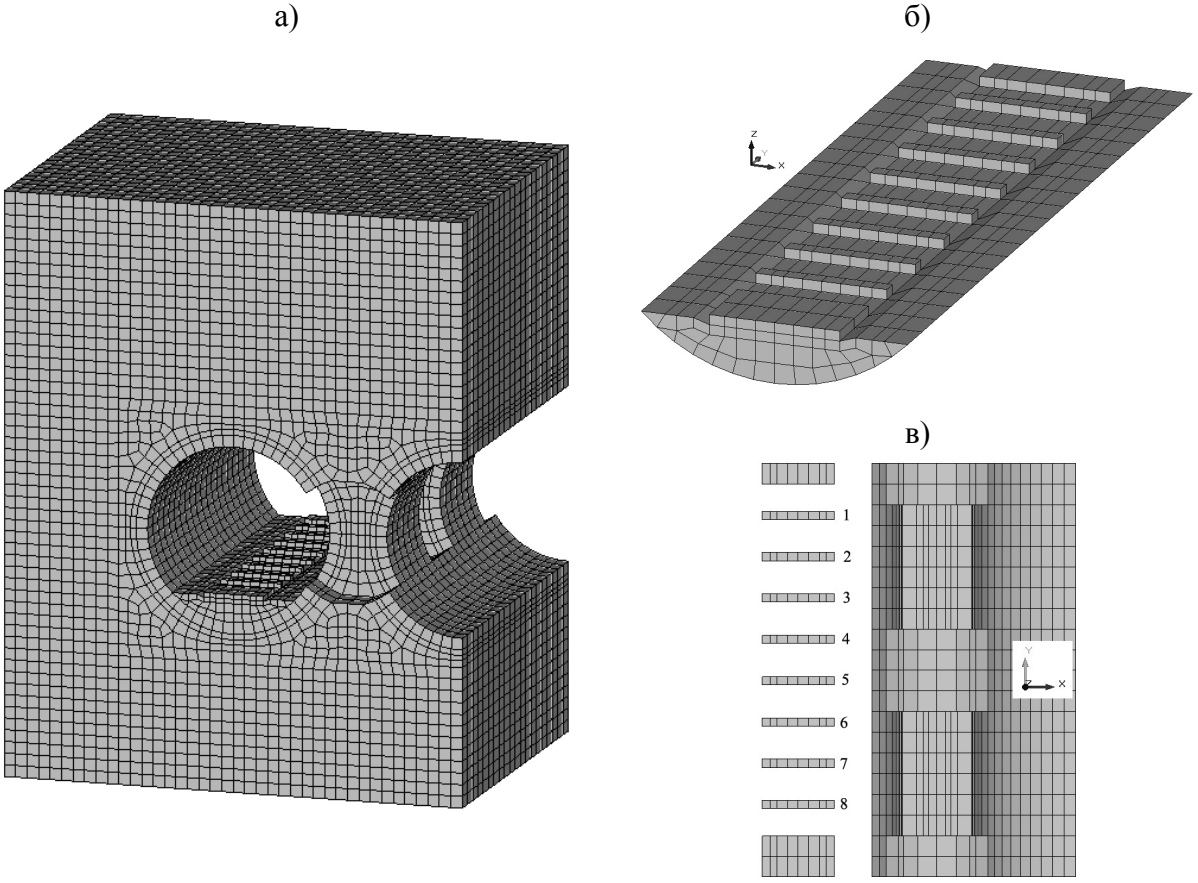

Рис. 2. Скінченно-елементна модель пілонної станції: а) загальний вигляд;
б) фрагмент моделі конструкції станції – половина конструкції з верхньою будовою колії (ВБК);
в) відношення рейко-шпальної решітки до основних елементів конструкції станції

Геометричні параметри ВБК: товщина баластного шару – 1,1 м, матеріал баласту – бетон класу В12,5 [7]. Шпали залізобетонні, геометричні параметри: довжина – 2,6 м, розміри поперечного перерізу – 0,2(висота)×0,3(ширина). У ВБК відтворена не вся рейко-шпальна решітка (рис. 2, в), а лише ті шпали, навантаження на котрі найбільше впливає на загальний НДС конструкції. ВБК як фрагмент СЕ-моделі змодельований окремо, а потім у режимі збирання вбудований у СЕ-модель. Всі вузли – сумісні, співпадаючі дубльовані вузли та елементи відсутні.

У подальшому дослідженні прикладення навантажень проводиться не на всі шпали, а лише на ті, які знаходяться у відповідності до характерних місць конструкції станції.

Відстані між точками прикладення навантажень (рис. 2) нормовані ДБН [7].

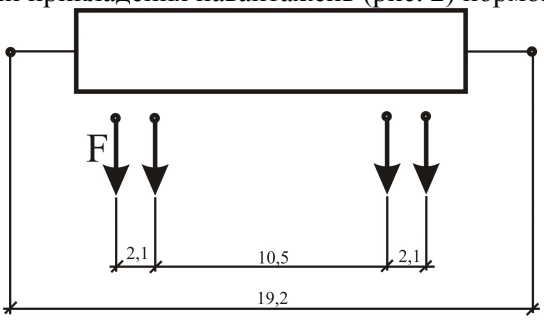

Рис. 2. Схема прикладення навантажень від вагону метропоїзду

На загальну СЕ-модель пілонної станції прикладені наступні сполучення навантажень: 1) власна вага із врахуванням вищележачого масиву; 2) 1-е та 2-е навантаження на шпалу № 2; 3) 1-е та 2-е навантаження на шпалу № 4; 4) 1-е та 2-е навантаження на шпалу № 5; 5) 1-е та 2-е навантаження на шпалу № 2 та № 8; 6) комбінація сполучення 1 та 2; 7) комбінація сполучення 1 та 3; 8) комбінація сполучення 1 та 4; 9) комбінація сполучення 1 та 5.

Положення навантаження пояснюється тим, що в сполученні 2 шпала розміщується практично посередині пілону, в сполученні 4 – на межі пілону та пройому, в сполученні 5 – посередині пройому, в сполученні 5 – вагон знаходиться навпроти системи «пілон–пройом–пілон». Комбінації 6–9 надають змогу порівняння загального НДС конструкції станції у випадку дії рухомого складу та її відсутності із можливістю висновку про її значущість.

Навантаження на шпалу прикладається у вигляді вузлових сил, що є специфікою роботи із об'ємними елементами, в яких прикладення розподіленого навантаження неможливе. Вузлові сили прикладаються на частину шпали, рівній відстані між рейками (1,52 м).

Деформаційні характеристики моделі розподіляються таким чином:

Жорсткість 1 – залізобетон, модуль пружності $E = 3{,}51 \cdot 10^7$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0{,}03$, питома вага $\gamma = 25$ кН/м^3; *Жорсткість 2* – глина суха, модуль пружності $E = 32$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0{,}3$, питома вага $\gamma = 20$ кН/м^3; *Жорсткість 3* – бетон В12,5, модуль пружності $E = 2{,}3 \cdot 10^7$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0{,}2$, питома вага $\gamma = 24$ кН/м^3. Після закінчення моделювання схеми проводився її розрахунок. Результати розрахунку наводяться на рис. 3–5.

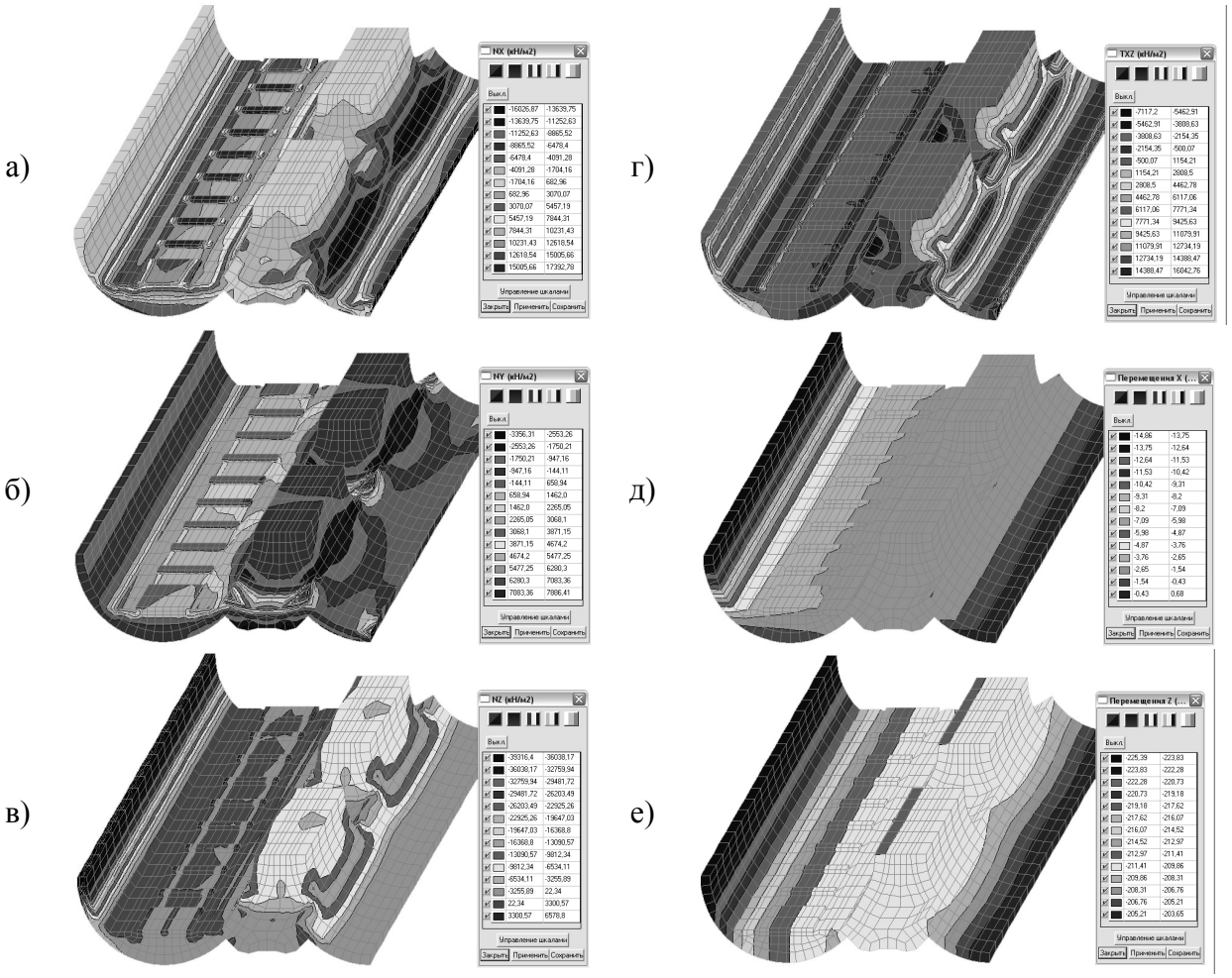

Рис. 3. Ізолінії та ізополя напружено-деформованого стану фрагменту моделі у випадку власної ваги:
а) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); б) нормальні напруження по осі Y (поздовжня);
в) нормальні напруження по осі Z (вертикальна); г) дотичні напруження в площині XZ;
д) переміщення по осі X (горизонтальна); е) переміщення по осі Z (вертикальна)

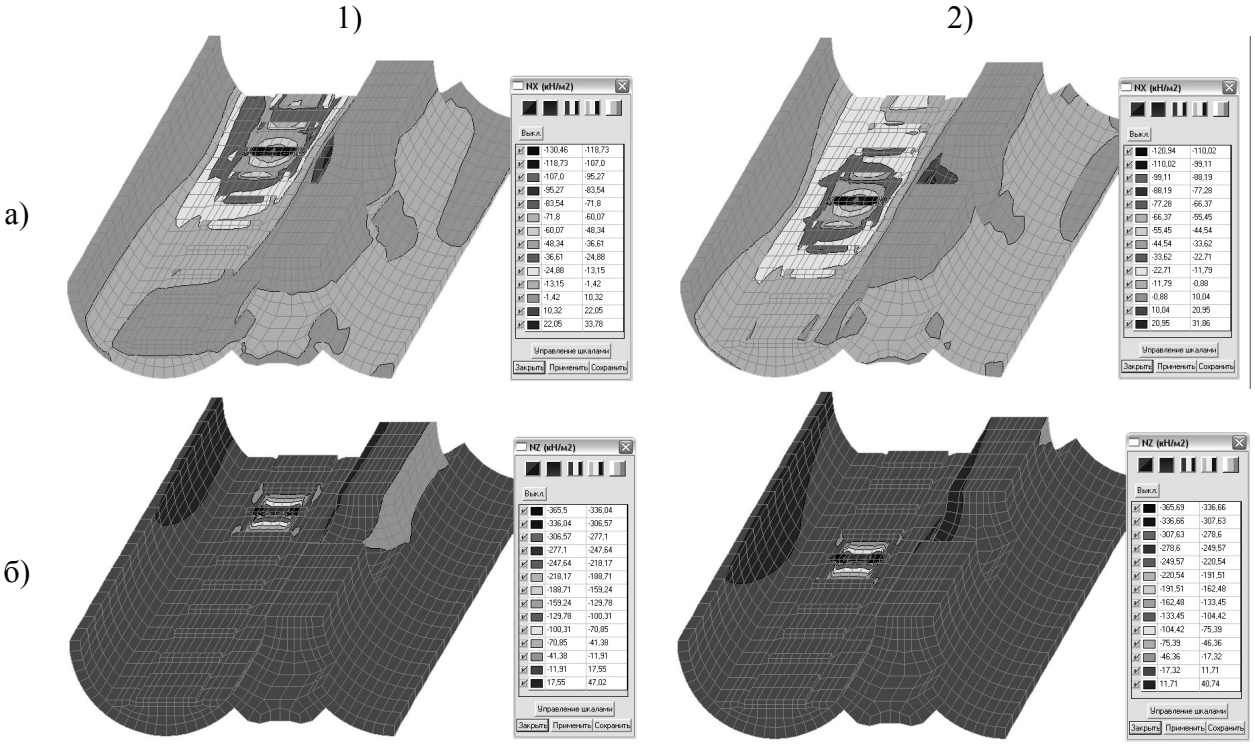

Рис. 4. Ізолінії та ізополя напруженого стану фрагменту моделі: 1) навантаження на 2-гу шпалу; 2) навантаження на 4-ту шпалу. а) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); б) нормальні напруження по осі Z (вертикальна)

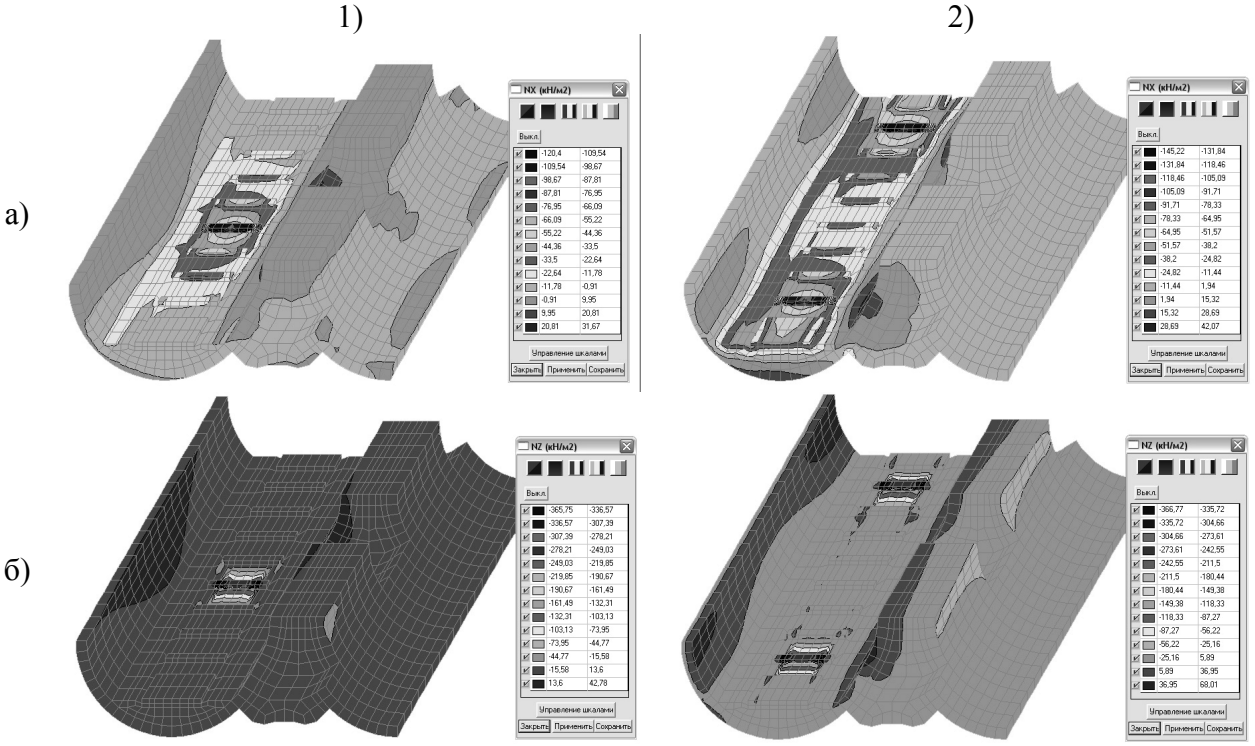

Рис. 5. Ізолінії та ізополя напруженого стану фрагменту моделі:
1) навантаження на 5-гу шпалу; 2) одночасне навантаження на 2-у та 8-у шпалу.
а) нормальні напруження по осі X (горизонтальна); б) нормальні напруження по осі Z (вертикальна)

На рис. 3. наведено параметри напружень та переміщень в СЕ-моделі без врахування впливу рухомого складу, лише на дію власної ваги та ваги масиву, який замінено вузловими силами для їх кількісного порівняння із випадком дії метропоїзда. Параметри НДС для сполучень навантажень 6–9 не наводяться, так як вплив власної ваги є значно більшим від впливу рухомого складу, тому напруження та переміщення від метропоїзду поглинулися напруженнями та переміщеннями від власної ваги.

Проводячи аналіз результатів розрахунків СЕ-моделі можна зробити наступні висновки:

1. Розроблена СЕ-модель конструкції станції із лотковою частиною та ВБК більш адекватна реальній підземній споруді, так як дозволяє отримати НДС від впливу рухомого складу метропоїзду.
2. Аналіз результатів контрольного розрахунку на дію лише власної ваги та масиву, який відкинуто та замінено вузловими силами, свідчить про те, що кількісно та якісно вони є характерними для випадку сухої глини (16…17 МПа – горизонтальні напруження; 36…39 МПа – вертикальні напруження; 3,3…7,9 МПа – поздовжні напруження; до 7,7 МПа – дотичні напруження в площині XZ).
3. Аналіз випадків прикладення навантажень на різні шпали (рис. 4–5) доводить, що вплив рухомого складу є локальним і на обробку в лотковій частині впливає несуттєво. Значний вплив метропоїзду відбувається на рівні 0,5…0,8 м в бетоні лоткової частини, але значення напружень можна вважати незначними в порівнянні із міцністю бетону В12,5 (0,12…0,13 МПа – горизонтальні напруження, максимум – 0,145 МПа у випадку одночасного впливу на 2 та 8 шпалу; 0,35…0,36 МПа – вертикальні напруження у всіх випадках; напруження рівня 0,05…0,06 МПа – поздовжні нормальні та дотичні в площині XZ). Запас міцності бетону лоткової частини від дії лише рухомого складу складає десятки разів (приблизно 50 разів).

Розрахунок конструкції станції на дію рухомого складу в статичній постановці можна вважати перевірочним, так як він не надає результатів, які могли б дати змогу висновку про їх велику значущість. Цей висновок підтверджується долею напружень від рухомого складу від загального напруженого стану; ця доля складає приблизно 1…2 %. Але слід відмітити, що динамічний розрахунок станції був би більш інформативним, але його проведення на даному етапу розвитку моделювання підземних споруд є надто складним.

Розробка складних моделей станцій метрополітену для математичного моделювання МСЕ дає можливість виконати розрахунки в динамічній постановці, наприклад, розрахунок на періодичну дію метропоїзду. Але для такого розрахунку потрібні динамічні характеристики рухомого складу, які можна з'ясувати із експериментальних досліджень, але вони не нормовані ДБН. Тому для подальшого розвитку наданих досліджень слід переглянути Норми та увести до них важливі для станційних конструкцій впливи, корегуючи вже існуючи.

Библиографический список

1. Петренко В. І., Петренко В. Д., Тютькін О. Л. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. – 176 с.
2. Демешко Е. А., Косицын С. Б., Слемзин А. Е. Расчет колонной станции метрополитена как пространственной конструкции // Транспортное строительство. – 1992. – № 1. – С. 32–35.
3. Современные методы прочностных расчетов в метро- и тоннелестроении // Демешко Е. А., Косицын С. Б., Сергеев В. К., Долотказин Д. Б., Косицын А. С., Потапова О. А. / Сб. трудов науч.-техн. конф. «Подземное строительство России на рубеже XXI века», Москва, 15–16 марта 2000. – М.: ТАР, 2000. – С. 200–207.
4. Подземные гидротехнические сооружения. Учеб. для вузов. / Мостков В. М., Орлов В. А., Степанов П. Д., Хечинов Ю. Е., Юфин С. А. / Под ред. В. М. Мосткова. – М.: Высшая школа, 1986. – 464 с.
5. Шашенко А. Н., Пустовойтенко В. П. Расчет несущих элементов подземных сооружений. – К.: Наукова думка, 2001. – 168 с.
6. Шашенко А. Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е. А. Геомеханические процессы в породных массивах. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. – 319 с.
7. ДБН В.2.3-7-2003. Метрополітени.
8. Тютькин А. Л. Модальный анализ конструкции пилонной станции метрополитена с учетом присоединенных масс грунта / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ: Вид-во ДІІТу, 2007. – Вип. 18. – С. 194–197.

© Тютькін О. Л., 2008.